DER WÄRMEAUSTAUSCH ZWISCHEN KÖRPER UND BAD UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG VERSCHIEDEN TEMPERIERTER MOORBREIBÄDER

HILDE DÖMLING

1962

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München
Direktor: Professor Dr.med.H.v.Braunbehrens

D E R W Ä R M E A U S T A U S C H Z W I S C H E N K Ö R P E R U N D B A D U N T E R B E S O N D E R E R B E R Ü C K S I C H T I G U N G V E R S C H I E D E N T E M P E R I E R T E R M O O R B R E I B Ä D E R .

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt
von
Hilde Dömling
aus
München

München 1969

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Prof.Dr.med.H.von Braunbehrens
Mitberichterstatter: Priv.Doz.Dr.med.H.Drexel
Dekan: Prof.Dr.med.F.Marguth

UNIV. LEIDEN, BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 5. November 1968

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

1.	Einleitung.....	Seite	1
2.	Methodik.....	Seite	3
2.1	Art der Messungen.....	Seite	3
2.11	Wärmestrommessungen.....	Seite	3
2.12	Haut-und Folientemperaturmessungen...	Seite	3
2.2	Meßgeräte.....	Seite	3
2.21	Registriergeräte.....	Seite	3
2.22	Folien.....	Seite	3
2.23	Eichung der Folien.....	Seite	4
2.3	Versuchsablauf.....	Seite	4
2.31	Versuchsraum.....	Seite	4
2.32	Versuchspersonen, Versuchsanordnung..	Seite	4
2.33	Meßstellen.....	Seite	6
2.34	Bademedium.....	Seite	6
3.	Versuchsergebnisse.....	Seite	7
3.1	Kerntemperatur, durchschnittlicher Verlauf u. Variationsbreite derselben.....	Seite	7
3.11	Rectaltemperatur.....	Seite	7
3.111	Rectaltemperatur vor dem Bade.....	Seite	7
3.112	Rectaltemperatur während des Bades...	Seite	7
3.12	Sublingualtemperaturen.....	Seite	12
3.121	Sublingualtemperaturen vor dem Bade..	Seite	12
3.122	Sublingualtemperaturen während des Bades.....	Seite	12
3.2	Folientemperaturen.....	Seite	13
3.21	Folientemperaturen vor dem Bade.....	Seite	13
3.22	Folientemperaturen während des Bades.....	Seite	14

3.3 Variabilität der Kern- und Hauttemperaturen einzelner Versuchspersonen.....Seite 19
3.4 Wärmestromdichte, Wärmedurchgangswiderstände.....Seite 23
3.41 Ausschläge des Folienschreibers.....Seite 23
3.42 Zur Konstanz der Wärmestromdichte....Seite 23
3.43 Wärmeströme.....Seite 30
3.44 Wärmedurchgangswiderstände.....Seite 33

4. Besprechung der Versuchsergebnisse...Seite 36

5. Zusammenfassung.....Seite 57

Literaturhinweise

Lebenslauf

DER WÄRMEAUSTAUSCH ZWISCHEN KÖRPER UND BAD UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG VERSCHIEDEN TEMPERIERTER MOORBREIBÄDER.

1.0 Einleitung.

Zahlreiche Untersuchungen der Körpertemperaturregelung unter verschiedenen Umgebungsbedingungen sind in den letzten Jahren, seit der Darstellung der physikalischen Bioklimatologie durch K.Büttner (1) eingehend beleuchtet worden. ((Aschoff (2), Burton und Edholm (3), Hensel (4), Thauer (5), Wetzel (6), Winslow und Herrington (7) u.a.)). Den direkten Einfluß verschieden temperierten Wassers in Form von Bädern oder anderen Anwendungsformen auf die Wärmebilanz und die Temperaturregelung des Organismus erwähnte man in diesen Übersichten jedoch kaum. Von den thermischen Wirkungen des Wassers bearbeitete man praktisch nur die Wasserverluste über die Haut und Atmung in ihrer Bedeutung für den Wärmehaushalt des Organismus genauer.

Erstaunlich ist, daß die ersten exakten Messungen des Wärmeaustausches zwischen Organismus und Umgebung und die ersten quantitativen Abschätzungen über den menschlichen Wärmehaushalt von Liebermeister (8) bereits 1875 mit Hilfe der sogenannten Badekaloriemetrie durchgeführt und aufgestellt wurden. Diese Messungen bestätigte Lefevre (9) 1911, sowie Burton und Bazett (10) 1936 im wesentlichen. Mit Ausnahme von Kellner (11) und Ipser (12,13) hat seitdem unseres Wissens niemand mehr die Frage der Wärmebilanz in Bädern verschiedener Temperatur aufgegriffen und experimentell bearbeitet.

Eine Behandlung der Wärmeaustauschvorgänge ausschließlich nach Bilanzgesichtspunkten wird den tatsächlichen Verhältnissen jedoch nicht hinreichend gerecht. Daß für den Unterschied von Moorbrei- und Wasserbädern außer den thermophysikalischen Stoffkonstanten der Bademedien, auch noch andere thermische Faktoren, wie die Verteilung und

der Verlauf des Wärmestromes an der Grenzfläche Körper/ Bad verantwortlich sein könnten, wurde vermutet. Dirnagl (14) hat 1956 zuerst exakte theoretische und mit einzelnen Meßgrößen belegte Unterlagen über thermische Faktoren, wie die Verteilung und den Verlauf des Wärmestromes an der Grenzfläche Körper/Bad geschaffen. Diese Ergebnisse überprüfte Ipser (12, 13) und erkannte sie in ihrer Größenordnung als richtig an.

Man sieht aus dem kurzen geschichtlichen Überblick, daß die Frage der genauen Erfassung des menschlichen Wärmehaushaltes im Bade und der damit zusammenhängenden Fragen nie verstummte.

Während die chemische Seite der Moorbäder und ihre Auswirkungen schon lange untersucht waren, stieß die Erforschung der physikalischen Vorgänge sowohl in der Luft, aber noch viel mehr in Bademedien wegen der bisher fehlenden meßtechnischen Möglichkeiten zur räumlich und zeitlich differenzierten Verfolgung des Wärmeaustausches zwischen Körper und Bademedium auf Schwierigkeiten. Erst die Entwicklung eines von Cammerer (15) angegebenen, am balneologischen Institut der Universität München durch Drexel, Dirnagl und Kampe (16) weiter ausgearbeiteten Verfahrens erlaubte es, die Wärmeströme zwischen Körper und Bäder verschiedener Temperatur unter besonderer Berücksichtigung der physikalischen Seite zu untersuchen.

Nachdem Kampe (17) als Bademedium vorwiegend Wasser verwendete, werden in der vorliegenden Arbeit Moorbreibäder verschiedener Temperatur untersucht.

2.0 Methodik

2.1 Art der Messungen

2.11 Wärmestrommessungen

Die Wärmestrommessungen führte ich mit Hilfe von Wärmestromfolienmessern aus.
Mit diesen Folien wurden auch

2.12 Haut- bzw. Folientemperaturmessungen durchgeführt.

2.2 Meßgeräte

2.21 Registriergeräte

Die Registrierung der Wärmestromdichte erfolgte kontinuierlich über einen Kompensationsverstärker auf einem 3-fach Linienschreiber. Als Fühler dienten Thermoelemente, deren Gegenelemente in einem Thermostaten lagen. Der Mehrpunktschreiber registrierte die Temperaturen im Bereich der Folien, des Rectums, sowie unter der Zunge, wobei feinere Schwankungen unter einer Zeitspanne unter 20 Sekunden selbstverständlich nicht erfaßbar waren.
Der Vorteil dieser Anlage besteht darin, daß man zu jeder Zeit sämtliche Daten (Wärmestromdichte, Haut- und Kerntemperaturen) ablesen und sie auch nach Beendigung des Versuches besitzt, so daß für jeden Zeitpunkt eine Reihe von thermischen Größen errechnet werden kann.

2.22 Folien zur Wärmestrommessung

Der Aufbau der Folien geht aus Abb. 1 und 2 hervor:
Wärmestromfolienmesser in Draufsicht

Abb. 1

Wärmestromfolienmesser im Querschnitt

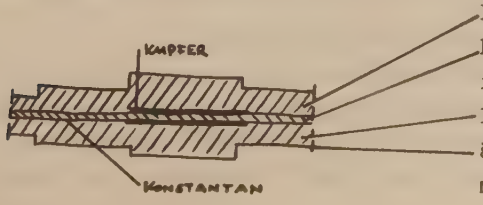


Abb. 2

Für die Messungen des Wärmestromes war auf beiden Seiten einer Hostaphanfolie von 40 µ Stärke ein abschnittsweise verkupfertes Konstantanband so hin und her geschlungen, daß sich jeweils die aufeinanderfolgenden Übergangsstellen Kupfer-Konstantan und Konstantan-Kupfer gegenüber lagen.

Das Thermoelement für die Oberflächentemperaturmessungen, das eine Konstantan-Manganinkombination darstellt, ist in der Mitte der vorher beschriebenen Folie so eingeklebt, daß es unter die dem Körper zugewandte Deckfolie zu liegen kam. Beiderseits der Meßfläche lag eine Deckfolie von 10 µ Stärke auf und das ganze wurde mit einem Spezialkleber für Hostaphan verklebt. Die äußeren Ränder der Meßfolien waren thermisch geschweißt und die Zuführungen mit Araldit, einem Kunstharzlack, ausgegossen. Die gesamte Schichtdicke der Folie betrug ca. 100 µ, ihr Wärmedurchgangswiderstand 29 $cm^2 s\,^{\circ}C$ / cal.

Für die Rectal- und Sublingualtemperatur verwendeten wir handelsübliche Fühler, die wiederum über das Gegenelement an den Mehrfachschreiber angeschlossen wurden.

2.23 Eichung der Folien.

Die Beziehungen zwischen Galvanometerausschlag und Höhe des Wärmestromes pro Zeit- und Flächeneinheit sind durch mehrere Eichungen ermittelt und während der Versuche mehrmals auf ihre Gültigkeit überprüft worden.
Über die Art der Eichung wird auf die Arbeit von Kampe (17) verwiesen.

2.3 Versuchsablauf

2.31 Versuchsraum

Die Versuche fanden in einem vollklimatisierten Raum von 28°C Temperatur und einer relativen Feuchtigkeit von 50-60 % statt.

2.32 Versuchspersonen, Versuchsanordnung.

7 gesunde Versuchspersonen nahmen je 2 Moorbäder. Dabei wurden Hauttemperaturregistrierungen an 3 Stellen, 2 Arten von Kerntemperatur- und Wärmestrommessungen an 3 Stellen durchgeführt. Das sind 8 Meßgrößen pro Person und Versuch.

Einige charakteristische Daten der 7 Versuchspersonen können folgender Tabelle entnommen werden; die entsprechenden Bezeichnungen werden auch weiterhin verwendet.

V.P.	Geschl.	Alter Jhr.	Größe m.	Gewicht kg.	Körp.-Ob.-Fl. m^2 (geschätzt nach .....)	
A	♀	25	1,70	61,5	1,72	schlank
B	♀	20	1,62	58,2	1,61	vollschlank
C	♂	43	1,78	75,2	1,93	schlank
D	♂	43	1,82	88,0	2,10	kräftig
E	♀	25	1,65	64,1	1,71	vollschlank
F	♂	54	1,58	63,4	1,65	schlank
G	♂	27	1,86	83,0	2,06	kräftig

Diese 7 Versuchspersonen (V.P.), bekleidet mit einer Badehose bzw. mit einem 2-teiligen Badeanzug, lagen zunächst ungefähr 1/4 Stunde völlig ruhig in einer Art Hängematte über dem vorbereiteten Moorbreibad. Nach dieser Zeit begannen die ersten Messungen bei 28°C Raumtemperatur und 50-60% Luftfeuchtigkeit. Die Raumtemperatur wählte ich deshalb so, weil diese Temperatur im allgemeinen als thermoindifferente Lufttemperatur gilt und weil bei dieser Temperatur weder eine ausgeprägte Auskühlung noch eine Überwärmung der V.P. auftritt. Anschließend ließ ich die Versuchsperson, nachdem die Temperatur an den verschiedenen Meßstellen 2 Minuten vor, 1 Minute vor und unmittelbar bei Badbeginn gemessen wurde, mittels einer hydraulischen Vorrichtung zur Messung ins Bademedium, möglichst ohne Lageänderung, um orthostatische Kreislaufreaktionen und Muskelarbeit zu vermeiden.

2.33 Meßstellen

Als Meßinstrumente dienten 3 Meßfolien, sowie 2 Thermoelemente für die Rectal- und Sublingualtemperaturmessungen, die auf bereits beschriebene Art gebaut waren.
Gemessen wurde die Temperatur und die Wärmestromdichte praktisch ununterbrochen von der 2. Minute vor Badbeginn bis zur 20. Minute nach Badbeginn und zwar am:
Bauch,
Oberschenkel,
Handrücken,
sowie rectal und sublingual.
Als bestes Klebemittel für das Anbringen der Folien erwies sich der unter dem Handelsnamen "Uhu" bekannte Alleskleber, der sich mit Hilfe von Tetrachlorkohlenstoff auch wieder leicht entfernen ließ.

2.34 Bademedium

Moorbäder mit verschiedenen Temperaturen wie unten beschrieben.
Die Moorerde stammte aus dem Aiblinger Gebiet und wurde, ebenso wie die Räumlichkeiten zu diesen Versuchen freundlicherweise vom Besitzer des Moorbades "Wetterstein" in München zur Verfügung gestellt.
Die Bereitung und Erwärmung des Moorbades erfolgte maschinell durch Zuleitung von heißem Wasser und Wasserdampf, was einen gut durchmischten und überall ziemlich gleich warmen Moorbrei ergab.
Die Temperaturen der Bäder lagen bei: 39,5; 35,0; 37,5; 39,5; 40,0; 35,5; 39,0; 35,2; 38,5; 34,0; 37,0; 34,5; 38,0; 40,5°C.
Sie wurden jeweils vor und zu Badbeginn, sowie am Badende nach 20 Minuten Badezeit am Übergang vom äußeren zum mittleren Drittel der Wanne im Fußbereich gemessen.

3.0 Versuchsergebnisse

3.1 Kerntemperatur, durchschnittlicher Verlauf und Variationsbreite

3.11 Rectaltemperatur

3.111 Rectaltemperatur vor dem Bade

Die Rectaltemperaturen in der 2. und 1. Minute vor Badbeginn zeigen bei einer constanten Raumtemperatur von 28°C folgende Ergebnisse:
$Temperatur_{rectal}$ im Mittel über sämtliche Versuche 37,6°C; dabei konnten Schwankungen von Versuchstag zu Versuchstag an ein und derselben Person (männlich, groß, schlank - V.P. C) von maximal 0,6°C (37,2°C-37,8°C) festgestellt werden. Diese Streubreite wurde auch, wenn man die verschiedenen Versuchspersonen miteinander vergleicht nicht überschritten.
Im Einzelnen ergab sich, daß die persönlichen Mittelwerte aus beiden Versuchen von Person zu Person von max. 37,4°C bis 37,8°C (0,4°C) und min. 37,5°C bzw. 37,6°C (0°C) schwankten.
Der durchschnittliche Extrembereich, den wir durch Mittelung der einzelnen Streuungen pro Person bekamen, lag bei 0,2°C.

3.112 Rectaltemperatur während des Bades

Die Versuche fanden in Bädern mit verschiedenen Temperaturen statt. Siehe auch unter 2.34.
Diese verschiedenen Badetemperaturen faßte ich in 3 Gruppen zusammen und zwar in eine

"niedere" Badtemperatur von i.M.	34,8°C
"mittlere"	36,6°C
"hohe"	39,2°C

(Siehe auch unter 4.0 Besprechung der Versuchsergebnisse.) Unter Berücksichtigung dieser Einteilung wurden sämtliche Kern- und Oberflächentemperaturen als Funktion der Zeit von allen V.P. je Badtemperatur gemittelt und in der Abb. 3, 4, 5, graphisch dargestellt.

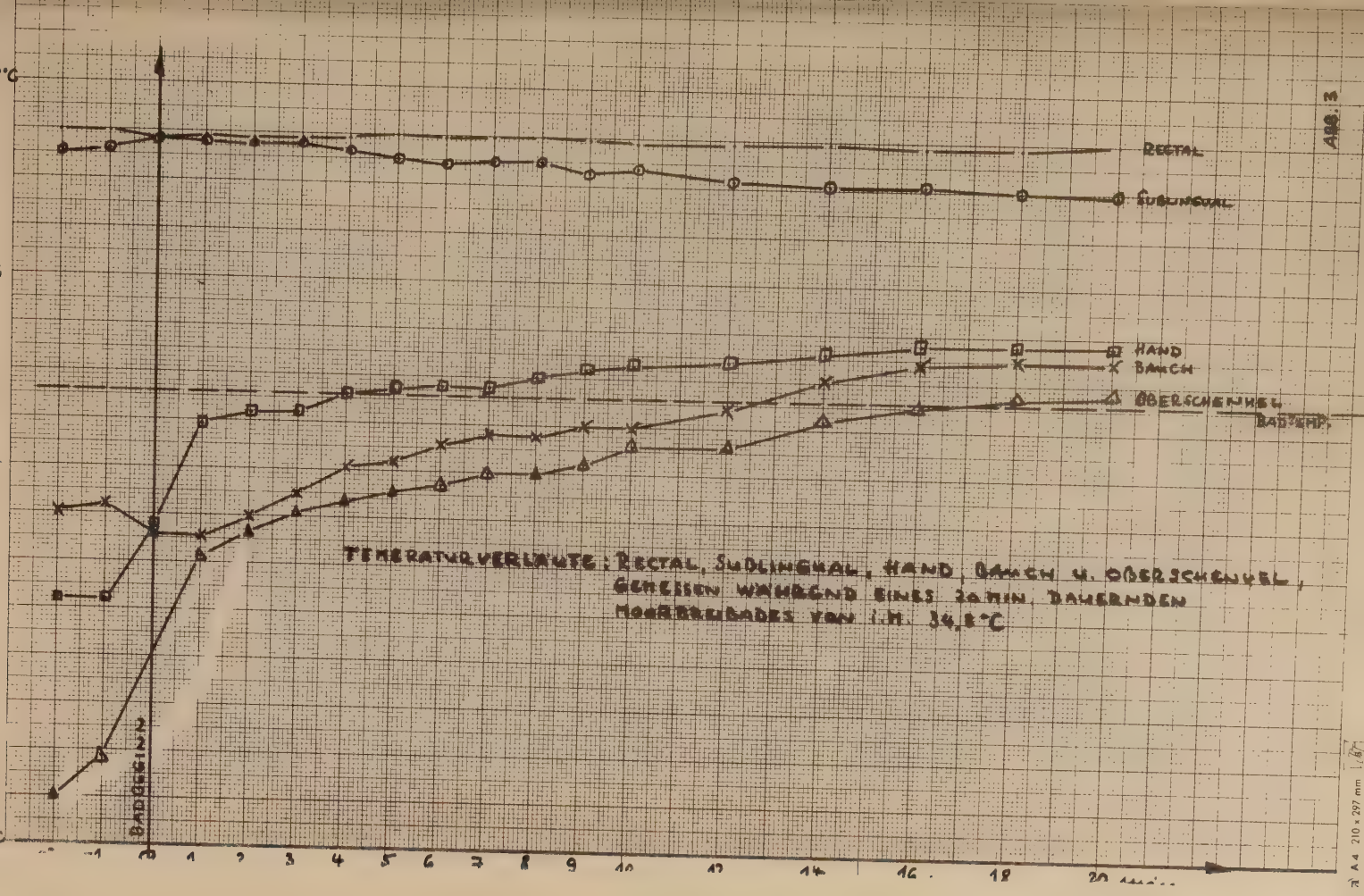
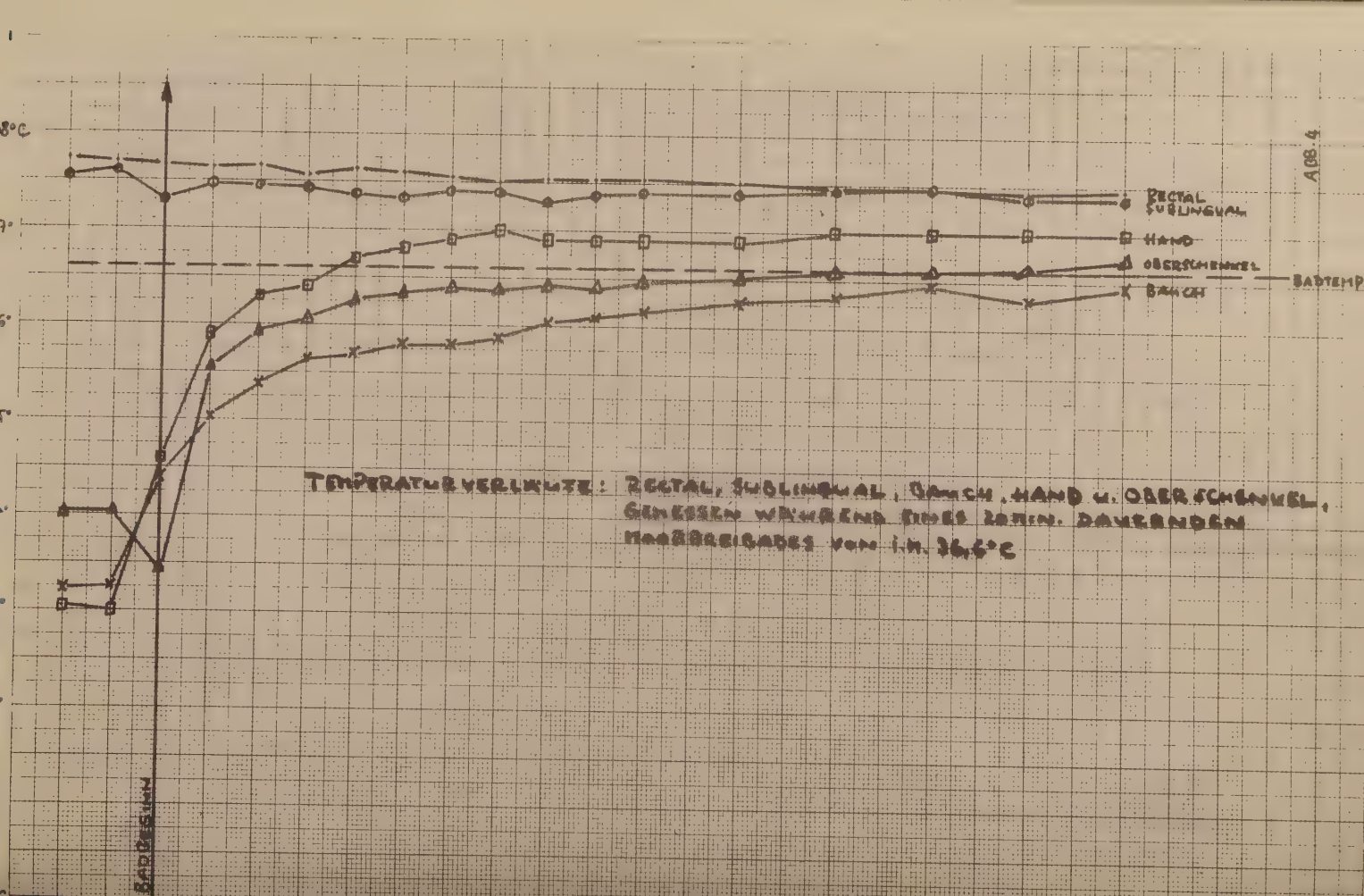


Abb. 3

TEMPERATURVERLÄUFE: RECTAL, SUBLINGUAL, HAND, BAUCH U. OBERSCHENKEL, GEMESSEN WÄHREND EINES 20 MIN. DAUERNDEN MOORBADES VON I.M. 34,8 °C

A4 210 x 297 mm



TEMPERATURVERLAUFE: RECTAL, SUBLINGUAL, BAUCH, HAND u. OBERSCHENKEL, GEMESSEN WÄHREND EINES 20MIN. DAUERBADES MIT BADETEMPERATUR von i.M. 36,6°C

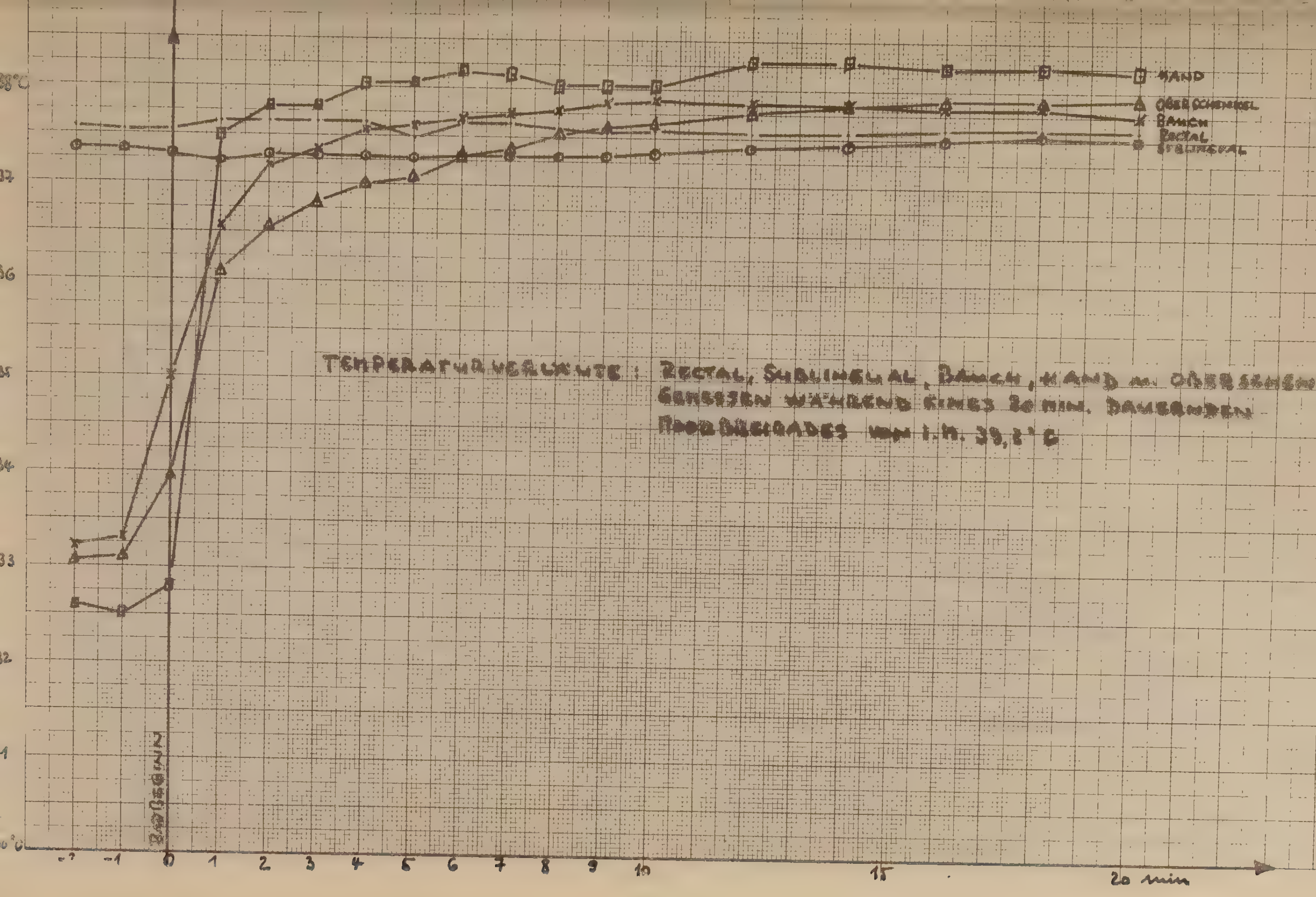

TEMPERATURVERLÄUFE: RECTAL, SUBLINGUAL, BAUCH, HAND u. OBERSCHENKEL
GEMESSEN WÄHREND EINES 20 MIN. DAUERNDEN
MOORBREIBADES von i.M. 39,3° C
HAND
OBERSCHENKEL
BAUCH
RECTAL
SUBLINGUAL
BADBEGINN
33
36
20 min
15
10

ABB. 5

Sehen wir uns die Abb. bezüglich der Rectaltemperatur etwas genauer an:

Die "niedere" Badtemperatur (34,8°C) ändert die Rectaltemperatur von durchschnittlich 37,5°C während des 20 Minuten dauernden Bades nicht, wenn man von kleinen Schwankungen in der Größenordnung von max. 0,05°C absieht, die wahrscheinlich von Meßungenauigkeiten herrühren.

Bei der "mittleren" Badtemperatur von 36,6°C ist, wenn man die Temperatur$_{rect.}$ von 37,7°C vor Badbeginn berücksichtigt, ein leichtes Abfallen auf 37,6°C i.M. festzustellen.

Die "hohe" Badtemperatur von 39,2°C wiederum ändert die Rectaltemperatur nicht. Sie beträgt von Anfang bis zum Ende 37,6°C.

Interessant ist die Feststellung, daß sich die gemittelte Rectaltemperatur während der Badezeit von 20 Minuten mit 37,6°C nicht von der vor dem Bad gemessenen unterscheidet. Und zwar bei keiner der 3 Badegruppen.

Betrachtet man die einzelnen Versuchspersonen, so sind erstaunliche Schwankungen und wiederum auch Gleichmäßigkeiten zu beobachten:

Höchste Rectaltemperatur bei Badbeginn, d.h. unmittelbar nach Eintauchen in den Moorbrei: 37,9°C V.P. D_1, Moorbreitemperatur 39,0°C. Im Verlaufe des Bades kommt es zum langsamen Abfall, so daß die Rectaltemperatur am Ende des Bades 37,7°C beträgt. Die höchste Rectaltemperatur in der 20. Min. zeigt die V.P. G_1 mit 38,1°C bei einer Moortemperatur von 38°C, bei Badbeginn: 37,7°C.

Niedrigste Rectaltemperatur:
bei Badbeginn: 37,0°C V.P. D_2, Moortemperatur: 34,5°C (am Ende: 37,6°C)
bei Badende: 37,2°C V.P. B_2, Moortemperatur: 39,5°C

Die kleinste Schwankung im Verlauf der Rectaltemperatur zeigte die V.P. F_2 mit 0,1°C von 37,4°C-37,5°C bei einer Moorbreitemperatur von 34,5°C, die größte dagegen E_1 mit 0,8°C von 37,2°C-38,0°C bei einer Moortemperatur von 38,5°C.

3.12 Sublingualtemperatur

3.121 Sublingualtemperatur vor dem Bade.

$Temperatur_{subl.}$ i.M. über sämtliche Versuche hinweg 37,4°C (also um 0,2°C niederer als rect.). Auch hier konnten wieder erhebliche Schwankungen von einem Versuchstag zum anderen beobachtet werden. Bei der V.P. B (weiblich, vollschlank) von 36,9°C bzw. 38,2°C. Hier wurde diese max. Streubreite von 1,3°C, wenn man die V.P. miteinander vergleicht, nicht überschritten, sie war max. 0,4°C (von 37,2°C auf 37,6°C), bzw. min. bei 37,4°C und 37,2°C (Streubreite 0°C). Allerdings lag der durchschnittliche Extrembereich um 0,2°C höher als bei der Rectaltemperatur, nämlich bei 0,4°C.

3.122 Sublingualtemperatur während des Bades

Wahrend des Bades fällt die Sublingualtemperatur bei der "niederen" Badtemperatur (34,8°) innerhalb von 20 Minuten von 37,3°C i.M. vor dem Bade ziemlich gleichmäßig auf 37,0°C. Sie liegt um 0,5°C niederer als die Rectaltemperatur nach 20 Minuten.

Die "mittlere" Badtemperatur (36,6°C) ändert die Sublingualtemperatur kaum. Wenn man allerdings die Mittel vor dem Bad und das während des Bades vergleicht (37,6°C - 37,4°C), so muß man von einem Absinken um 0,2°C sprechen.

Die Badtemperatur von 39,2°C hat die Sublingualtemperatur auch gegenüber der vor dem Bad - 37,4°C nicht geändert.

Vergleicht man die mittlere Sublingualtemperatur vor und während des Bades mit den Ergebnissen der Rectaltemperatur, so ergibt sich folgendes Bild:

Die Rectaltemperatur war vor dem Bad und auch während des Bades i.M. um 0,2-0,3°C höher als die Sublingualtemperatur.

Betrachten wir die Versuche einzeln, so kommen wir zu folgenden Ergebnissen:
Die höchste Sublingualtemperatur unmittelbar nach dem Eintauchen lag bei 37,8°C (V.P. B_1), die Moorbreitemperatur betrug 40°C. Ab der 7. Minute befindet sich die Sublingualtemperatur bei 38,0°, ab der 10. Minute bei 38,1°C, ab der 16. bei 38,2°C. Eine dieser V.P. zeigt auch nach 20 Minuten Badedauer die höchste Sublingualtemperatur von 38,2°C. Die niedrigste Sublingualtemperatur zu Badbeginn lag bei 36,8°C bei der V.P. B_2, C_2, am Badende bei 36,9°C. Die Badtemperatur betrug im 1. Fall: 39,5°C, im 2.Fall: 35,5°C. Die niedrigste Sublingualtemperatur nach 20 Minuten Badezeit wurde bei der V.P. E_2 mit 36,7°C gemessen. Bei Badbeginn 37,2°C, constantes Absinken in der 5. Minute auf 37,0°C, Moorbreitemperatur: 34,0°C.

Im Verlauf der Badezeit zeigte jede V.P.Schwankungen der Sublingualtemperatur. Am kleinsten waren sie mit 0,1°C, von 37,3-37,4°C bei den Versuchen A_1 und F_1. Moortemperatur im 1. Fall: 39,5°C, im 2. Fall: 37,0°C. Am größten von 37,4-38,0°C, also um 0,6°C bei der V.P. G_1.Badtemp: 38°C.

3.2 Folientemperaturen

3.21 Folientemperaturen vor dem Bad

Gemessen wurde am Bauch, Oberschenkel und Handrücken unter const. Raumtemperatur. Es zeigte sich, daß die Oberflächentemperatur bei den einzelnen V.P. differierte - jede V.P. wurde mit anderen Wärmeverhältnissen dem Bademedium ausgesetzt.
Mittelte man die Ergebnisse der 2 Versuche pro Person vor dem Bade, so ergaben sich folgende min. und max. Temperaturen an den 3 Meßstellen: (wobei ϑ die Abkürzung für Temperatur, B die Abkürzung für die Meßstelle Bauch, H für Handrücken und O für Oberschenkel bedeuten)

ϑ_B min: 31,5°C (V.P. B, weibl.,klein, vollschlank)
ϑ_B max: 34,0°C (V.P. D,G, beide männl.,groß, kräftig)
ϑ_O min: 31,6°C (V.P. A, weibl.,groß, schlank)
ϑ_O max: 34,0°C (V.P. B, weibl.,klein, vollschlank)
ϑ_H min: 30,7°C (----------"----------)
ϑ_H max: 35,4°C (V.P. D, männl.,groß, kräftig)

Folientemperaturschwankungen ein und derselben Person von Versuch zu Versuch:

Bauch min: 33,1°C - 33,1°C = 0°C (V.P.E, ♀ , vollschlank)
max: 36,1°C - 31,7°C = 4,4°C (V.P.G, ♂ , kräftig)
Oberschenkel:
min: 33,2°C - 33,0°C = 0,2°C (V.P.C, ♂ ,groß,schlank)
max: 33,7°C - 29,1°C = 4,6°C (V.P.E, ♀ ,vollschlank)
Hand min: 34,7°C - 34,5°C = 0,2°C (V.P.C, ♂ ,groß,schlank)
max: 34,2°C - 30,6°C = 3,6°C (V.P.G, ♂ ,groß,kräftig)

Es gab also V.P., bei denen praktisch keine Streuung auftrat (V.P.E), bei anderen V.P. streute es von Versuch zu Versuch maximal um 4,6°C (V.P. G)

Folientemperaturschwankungen von der 2. zur 1. Minute vor Badbeginn innerhalb eines Versuches:

Bauch: nur die V.P.G zeigt eine Temperaturabnahme um 4,4°C, alle anderen bleiben constant.
Oberschenkel: - 0,1°C (A2) bis + 0,5°C (G1)
Hand: V.P. F: keine Schwankung, sonst Ab- und Zunahme um 0,2°C möglich.

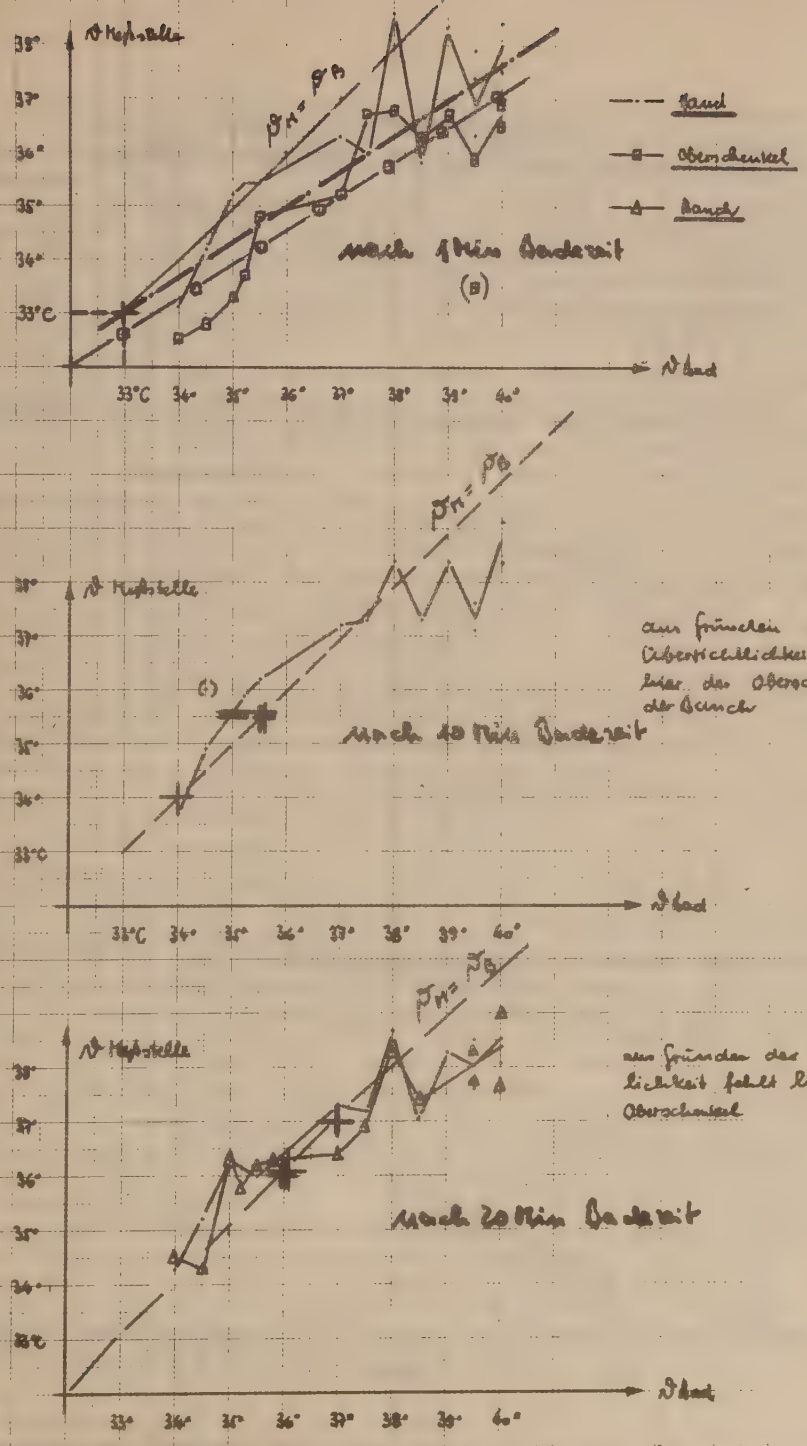
Die Mittelwerte (arithmetisches Mittel) von sämtlichen V.P. über alle Versuche hinweg sind am:

Bauch: 33,34°C
Oberschenkel: 32,61°C
Hand: 32,68°C

Mittel der Hauttemperatur vor dem Bad: 32,87°C

3.22 Folientemperaturen während des Bades

Die grafische Zusammenstellung siehe ebenfalls Abb., 3,4,5, dabei fällt zunächst auf, daß sich die Oberflächentemperatur (Hand, Oberschenkel, Bauch) gemessen bei der "niederen" (34,8°C) und der "mittleren" (36,6°C) Badtemperatur nach durchschnittlich 8 - 10 Minuten der Badtemperatur nähern.

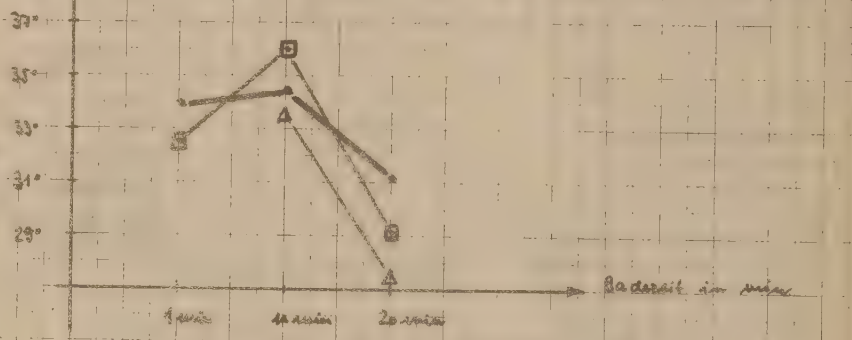


HAUTSTELLENTEMP. NACH DER 1., 10. U. 20 MIN IN ABHÄNGIGKEIT DER UMGEBUNGSTEMPERATUR.

Abb. 6

FOLIEN	∠ DES TEMPERATURANSTIEGES NACH		
	1 MIN	10 MIN	20 MIN
BAUCH	–	33,5°	28,5°
HAND	34,0°	34,5°	31,2°
OBERSCHENKEL	32,5°	36,0°	29,2°

WINKELGRADE — WINKEL DES TEMPERATURANSTIEGES MIT STEIGENDER BADEZEIT



TEMPPUNKTE (HAUTTEMP. - BADETEMP.): HAND, OBERSCHENKEL, BAUCH NACH 1, 10 u. 20 MIN BADEZEIT

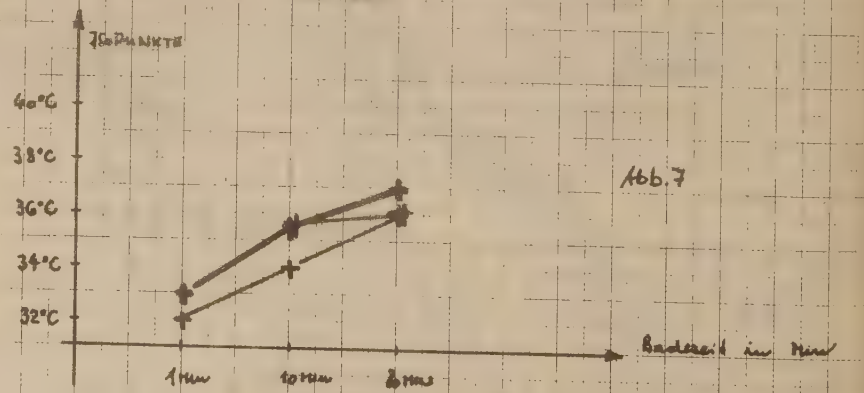


Abb. 7

Bei 34,8°C Badtemperatur liegen sämtliche Hauttemperaturen nach 20 Minuten über der Badtemperatur und zwar in der Reihenfolge: O, B, H .
Die "mittlere" Badtemperatur (36,6°C) überschreitet nach 20 Minuten nur die Temperatur am Bauch geringfügig, während O und H darüber liegen (um weniger als 1°C).
Beide Badtemperaturen (s.a.u. 2,34) und somit in diesem Falle auch "Schalentemperaturen" (= fiktiver Begriff für die gemessene Temperatur am B, O, H) liegen unter der Kerntemperatur.
Nur bei der "hohen" Badtemperatur von 39,2°C ist es umgekehrt, die Kerntemperaturen liegen nach 20 Minuten Badedauer unter den "Schalentemperaturen" und um ca. 1,5°C i.M. unter der Badtemperatur. Eine Konstanz der zur Schale gehörenden Meßstellentemperatur stellt sich bei der "mittleren" und noch deutlicher bei der "hohen" Badtemperatur nach verhältnismäßig kurzer Zeit ein (6-8 Minuten).
Bei der "niederen" Badtemperatur scheint sich die Konstanz erst nach ca. 20 Minuten einzustellen, jedoch ist der Anstieg kontinuierlich. In der Abb. 6 sind die Folientemperaturen in Abhängigkeit der Badtemperatur gezeigt. Hieraus ist zu entnehmen, daß bei allen Meßstellen die Temp. in der 1. Minute nach Badbeginn relativ steil ansteigt, um bis zur 10. Minute noch etwas zu steigen - man könnte auch sagen auszulaufen - und sich nach 20 Minuten zu beruhigen.
Darüber hinaus sind auch die Temperaturen eingezeichnet, bei denen die Badtemp. = Folientemperaturen sind. Man kann auch hier ein Ansteigen beobachten und zwar mit der Dauer des Bades, (s.Abb. 7), wobei besonders auffällt, daß die Hand und der Oberschenkel fast parallel laufen. Der Bauch liegt mit 35,5°C (Badtemp. = Folientemp.) in der 10. Min. im selben Temperaturbereich, wie die Hand; in der 20. Min. liegt er mit 36,0°C auf gleicher Höhe mit dem Oberschenkel.

Zum Beispiel wurde der isotherme Punkt beim Versuch 8, V.P. A_2 am Oberschenkel nach 10 Minuten Badezeit erreicht (Badtemp. = Folientemp. bei 35°C). Der mittlere isotherme Punkt des Oberschenkels lag bei 34°C.

Es ergaben sich auch Fälle, bei denen die Hauttemperatur des Oberschenkels um bis zu 1,4°C kälter bzw. bis zu 0,2°C wärmer als die Badtemperatur war, während kein Wärmefluß registriert wurde.

Dasselbe konnte ich auch an den Meßstellen Hand und Bauch wahrnehmen.

Als mögliche Ursache dieser Beobachtung könnten eventuell die Inhomogenität des Moorbreies, sowie die unterschiedliche Temperaturverteilung in der Badewanne in Frage kommen.

3.3 Variabilität der Kern- u. Hauttemperaturen einzelner V.P.
Vor dem Bad betrug die Rectaltemperatur i.M. über alle V.P. 37,6°C. Im einzelnen zeigte die V.P. C von Versuch zu Versuch die maximale intraindividuelle Schwankung ihrer Rectaltemperatur von 0,6°C.
Interindividuelle Schwankungen lagen bei 0,6°C.
Mit der gleichen Rectaltemperatur erschien keine V.P. an den beiden Versuchstagen.
Ähnliches konnte ich auch bei der Sublingualtemperatur beobachten.
Die maximale intraindividuelle Schwankung betrug 1,3°C bei der V.P. B.
Interindividuelle Schwankungen lagen bei 0-0,4°C.
Gleiche Sublingualtemperatur an den beiden Versuchstagen brachte nur die V.P. E mit jeweils 37,2°C mit.
Aus der Streuung der Werte ist recht gut ablesbar, daß trotz gleicher Versuchs- und Umgebungsbedingungen, vergleichbare Ausgangswerte selbst an ein und derselben V.P. schwer zu erreichen sind.
Während des Bades konnte ich beim Übergang von Luft/Moor und in den ersten 5 Minuten nach Badbeginn folgendes feststellen:
Von den 14 Versuchen erfuhren 8 keinerlei Änderung der Rectaltemperatur, (die Badtemperaturen lagen dabei zwischen 34°C und 40°C), 3 zeigten eine Rectaltemperaturabnahme von 0,1°C (Moortemp.= MT, MT 37°C + 38°C) bzw. 0,2°C (MT 34,5°C). 3 weitere Versuche erfuhren eine Rectaltemperaturzunahme um 0,1°C (MT 34,5°C) bis 0,3°C (MT 38,5 + 40°C).
Ähnliches ergab sich bei der Untersuchung der Sublingualtemperatur: von 14 Versuchen wiesen 4 keine Änderung, 5 eine Abnahme um 0,1°C (MT 34,0; 39,5; 40,0°C) bzw. um 0,2°C (MT 35,5°C) bzw. um 0,4°C (MT 37,5°C) auf. 5 andere Versuche zeigten eine Zunahme von 0,1°C (MT 35,0 und 38,5°C).

Daraus ersieht man, daß zwar die Kerntemperaturen einzelner V.P. zu- und abnehmen können, jedoch scheinbar unabhängig von der Moorbreibadtemperatur.

Betrachtet man die max. Kerntemperatur vor Badbeginn und zu Badende, so ist auch hier kein sicherer oder leicht erkennbarer Zusammenhang bezüglich der Kerntemperatur, der Zu- oder Abnahme und der Moorbreibadtemperatur festzustellen. Während sich die Kerntemperatur i.M. über alle V.P. kaum ändert, sehen wir bei einzelnen V.P. deutliche Änderungen, die sich zum Teil an Kampe's Ergebnisse nähern. Es verwischen sich die Einzelergebnisse, wenn man über mehrere V.P. mittelt. Man sieht jedoch, daß auch im einzelnen die Kerntemperatur nicht von unserer Moortemperatur beeinflußt wird, im Gegensatz zu gleichtemperierten Wasserbädern.

Nun wenden wir uns der Betrachtung der Schalentemperatur im einzelnen zu und zwar an Hand einiger Einzelversuche:

Die höchste Hauttemperatur an der Hand lag bei Versuchsbeginn. D.h. unmittelbar nach dem

Eintauchen bei 35,3°C MT 38,0°C V.P. G
MT 39,0°C D1
MT 37,5°C B1

am Badende betrug sie im 1. Fall 38,7°C 3,4°C Diff.
2. Fall 38,3°C 3,0°C "
3. Fall 37,2°C 1,9°C "

Die niedrigste Handtemperatur verzeichnete ich bei Badbeginn:

30,7°C MT 39,5°C V.P. B
37,6°C betrug sie dann am Badende. Diff.: 6,9°C.

Die höchste Handtemperatur nach 20 Min. Badezeit war: 39,1°C, MT 40°C, zu Beginn lag diese bei 31,1°C. Diff.: 8,0°C. Die niedrigste Handtemperatur am Badende war 34,3°C, MT 34°C V.P. E, zu Beginn betrug sie 32,4°C, Diff.: 1,9°C.

Wir können also bei der Hand im Verlaufe von 20 Minuten dauernden Moorbreibädern eine Temperaturzunahme von 1,9°C (MT 34°C) bis 8,0°C (MT 40°C) beobachten.

Betrachten wir nun unter den selben Gesichtspunkten die Hauttemperatur am Bauch und Oberschenkel, so sehen wir:

Am Oberschenkel fand eine Temperaturzunahme von 0,4°C (MT 39,5°C) bis 2,4°C (MT 34,0°C) statt, am Bauch von 2,7°C (MT 38°C) bis 8,3°C (MT 40,0°C). Die größte Schalentemperaturzunahme fand am Oberschenkel und an der Hand statt, mit 8,0°C bzw. 8,3°C, am Bauch betrug die Zunahme max. 2,4°C.
Ferner fällt auf, daß die V.P. G die höchsten Schalentemperaturen bei einer MT von 40°C aufwies, während eine andere V.P. bei derselben Moorbreitemperatur keine so große Temperaturzunahme zeigt.

Diese Beispiele verdeutlichen, daß jede V.P. mit anderen Wärmeverhältnissen dem Moorbrei ausgesetzt wurde.

Wegen der beschriebenen Schwankungen ist es auch notwendig geworden, mit einer hypothetischen, gemittelten V.P. zu arbeiten.

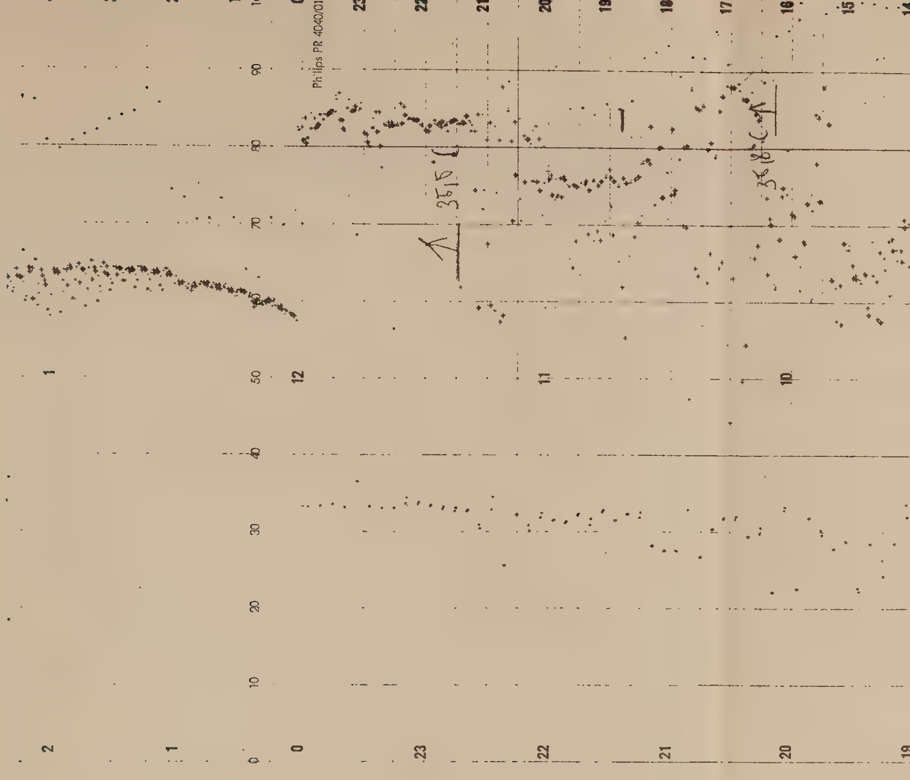
3.4 Wärmestromdichte, Wärmedurchgangswiderstände.

3.41 Ausschläge des an die Folien angeschlossenen Schreibers. Die Wärmeströme in cal/cm^2 sec sind mit verschiedenen Vorzeichen versehen. Liegen die Temperaturen des umgebenden Mediums unterhalb des Punktes, an dem kein Temperaturgefälle zwischen Körperoberfläche und umgebenden Medium besteht, so wurden die Ausschläge mit negativem Vorzeichen versehen, es findet dabei ein Wärmestrom vom Körper ins Bademedium statt. Liegen die Temperaturen des umgebenden Mediums über diesem Punkt, so waren die Folienausschläge entgegen gesetzt gerichtet und somit positiv, d.h. unter diesen Bedingungen fließt ein Wärmestrom aus dem Bademedium in den Körper. Zuletzt seien noch die Bäder um den Indifferenzpunkt genannt, bei denen die Ausschläge beim Eintauchen in das Bademedium positiv waren, jedoch bald dem 0-Punkt zuliefen, um dann nach kurzer Zeit negativ zu werden.

3.42 Zur Frage der Konstanz der Wärmestromdichte.
Um die Frage zu klären, wann der Wärmestrom annähernd gleich bleibt, ziehen wir die Ergebnisse des Thorax heran. Abb. 8, Versuch A_2 zeigt z.B. eine Originalkurve, die während des Versuches entstanden ist. Durch Multiplikation mit einem Eichfaktor wurden die in mm registrierten Einzelwerte in cal/cm^2 sec umgerechnet. Das Ergebnis ist in einem Koordinatensystem für jede V.P. aufgezeichnet. Abb. 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.

Besonders auffallend hierbei ist, daß die Wärmestromdichten sämtlich zunächst mit hohen Werten beginnen und steil abfallen, um dann einigermaßen gleichmässig zu verlaufen.

Die mittlere Wärmestromdichte in Abhängigkeit der Badezeit stellte ich unter Berücksichtigung der 3 Badtemperaturen (34,8; 36,6; 39,2°C) zusammen. Graphisch dargestellt ist das für alle 3 Meßstellen (Hand, Oberschenkel und Thorax) auf den Abb. 16, 17, 18.



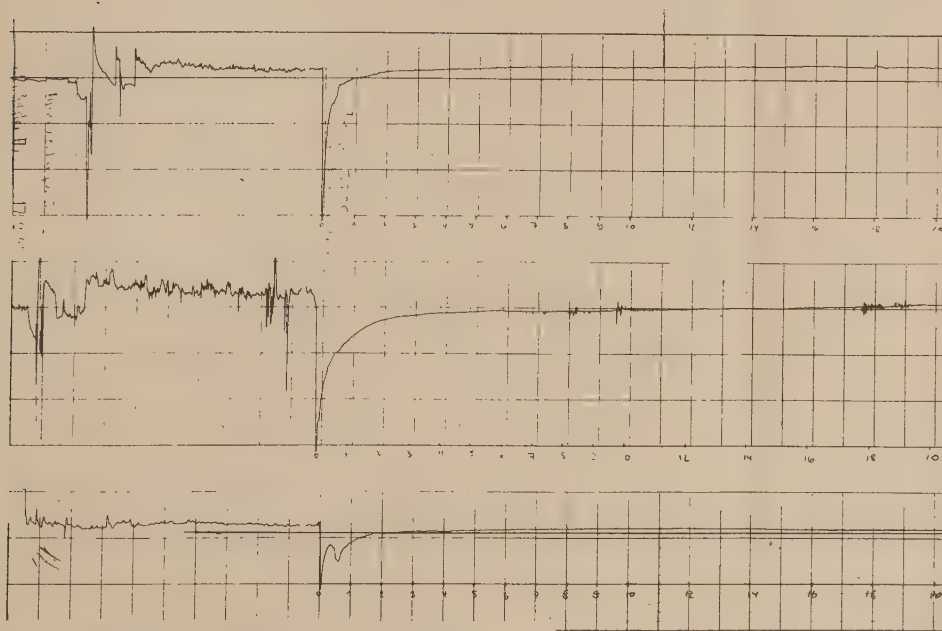


Abbildung 8: Originalkurve - Wärmestromdichte in einem Moorbreibad von 35°C, gemessen am Thorax, Oberschenkel u. an der Hand

Die 34,8°C-Kurve des Bauches beginnt bei ungefähr $-3. 10^{-3}$ cal/cm^{2}sec und fällt in den ersten 2 - 3 Minuten auf $-0,8. 10^{-3}$ cal/cm^{2}sec, um dann etwa konstant zu bleiben.

GEMESSENE WÄRMESTROMDICHTE WÄHREND EINES 20 MIN DAUERNDEN MOORBADES AM THORAX

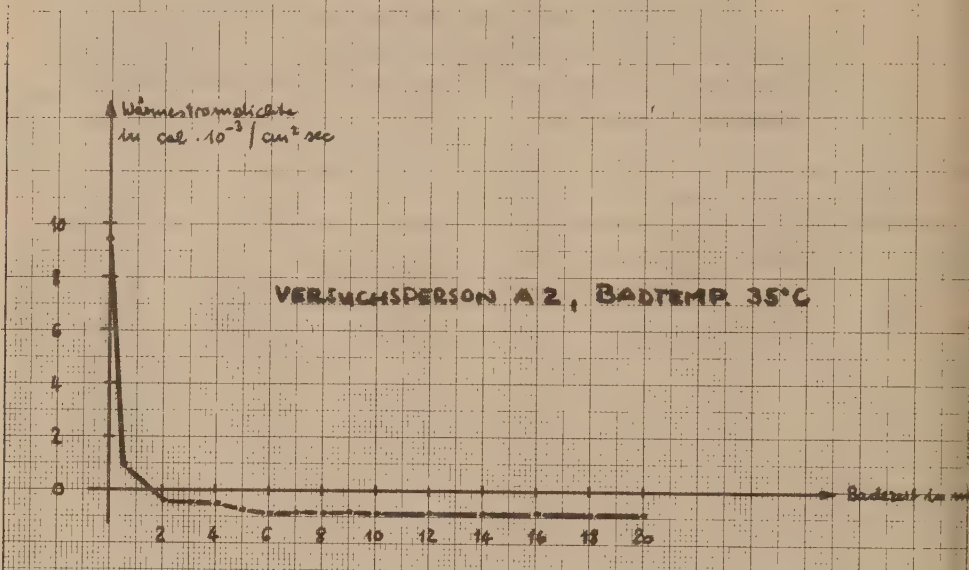


Abb.: 9

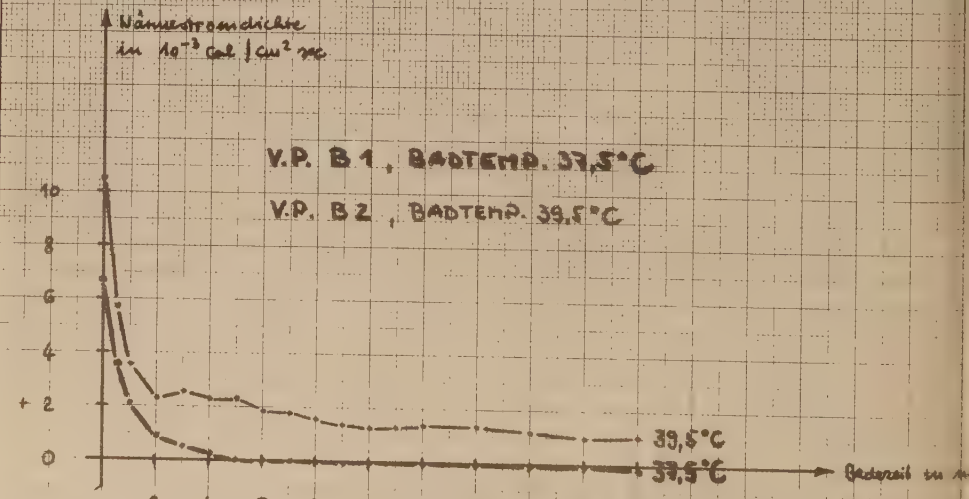


Abb.: 10

GEMESSENE WÄRMESTROMDICHTE WÄHREND EINES 20 MIN DAUERNDEN MOORBADES AM THORAX

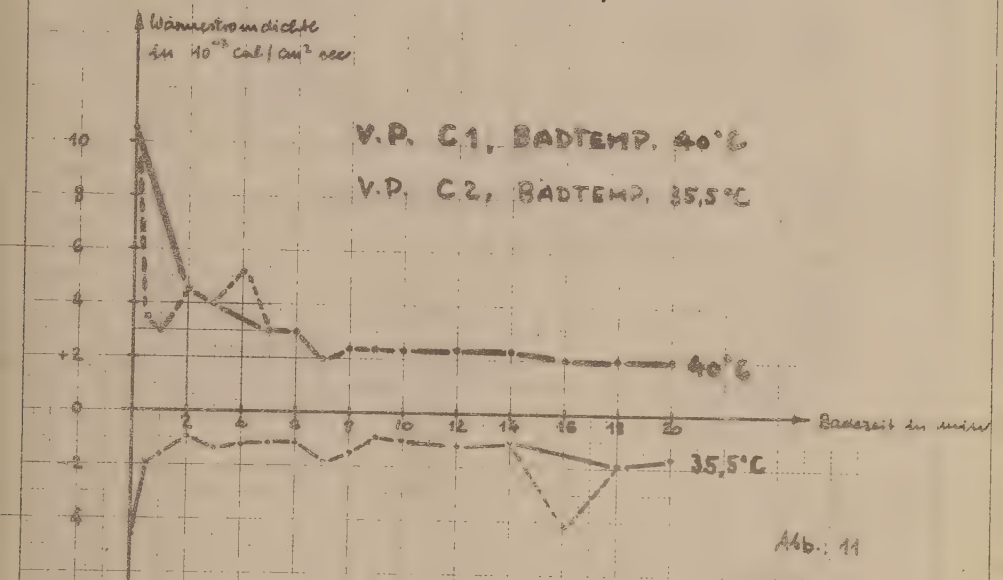


Abb.: 11

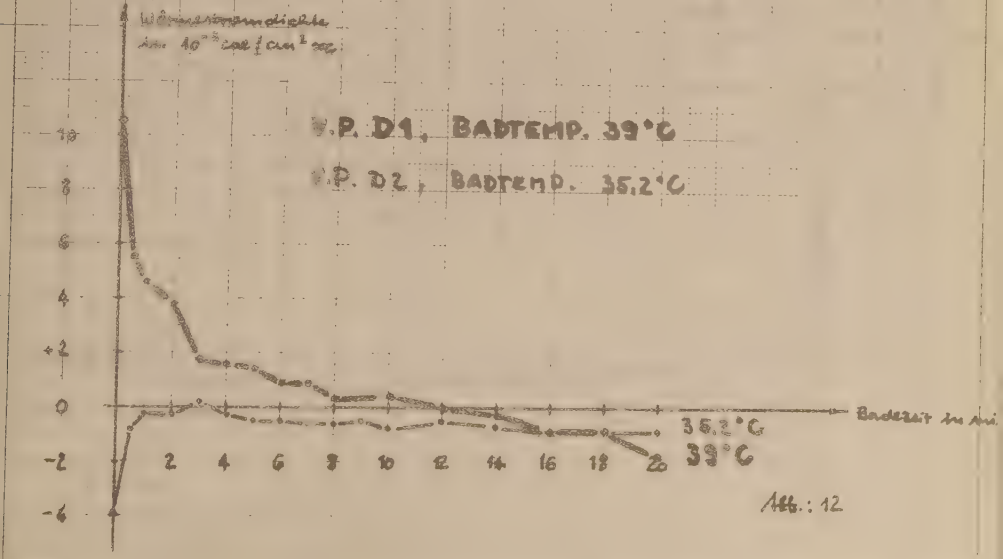


Abb.: 12

GEMESSENE WÄRMESTROMDICHTE WÄHREND EINES 20MIN DAUERNDEN MOORBADES AM THORAX

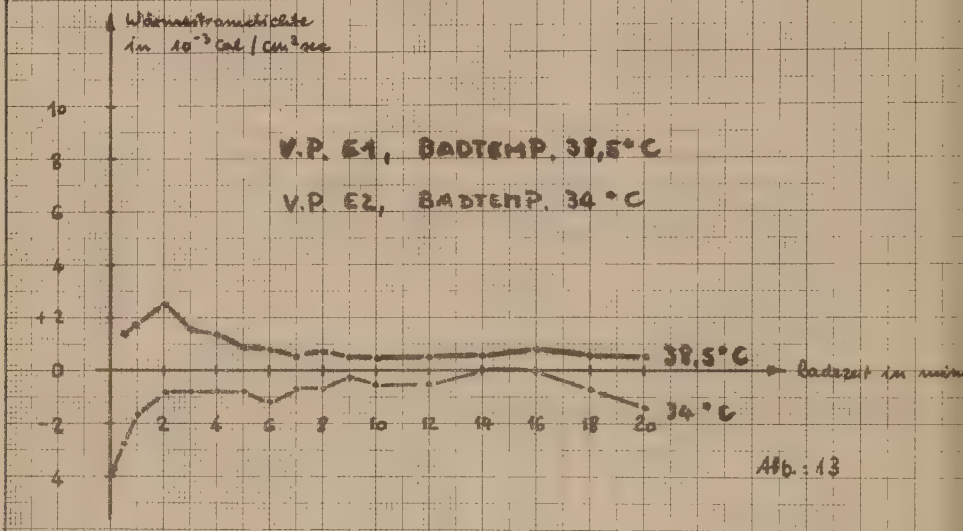


Abb.: 13

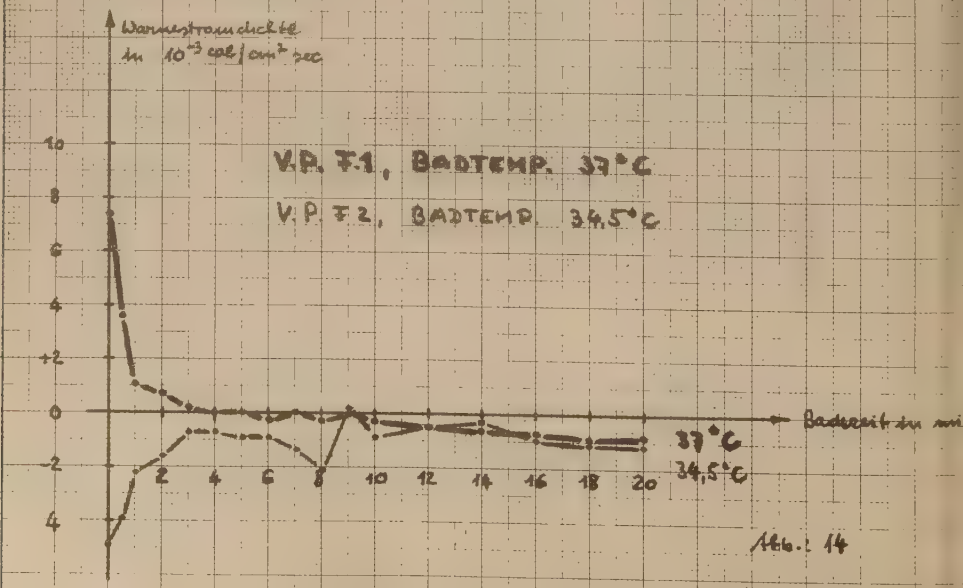


Abb.: 14

GEMESSENE WÄRMESTROMDICHTE WÄHREND EINES 20 MIN DAUERNDEN MOORBADES AM THORAX

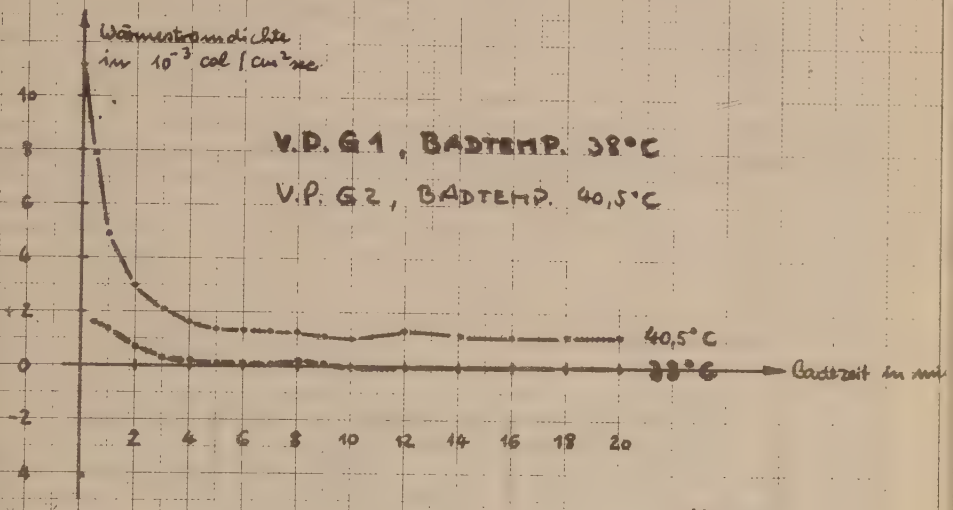


Abb.: 16

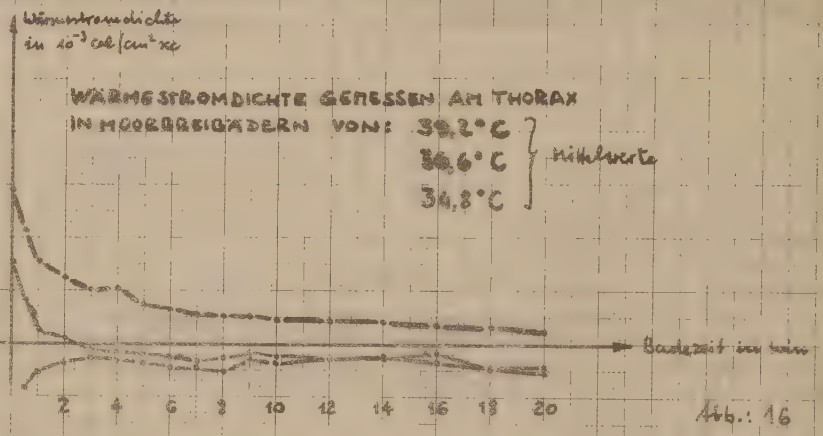


Abb.: 16

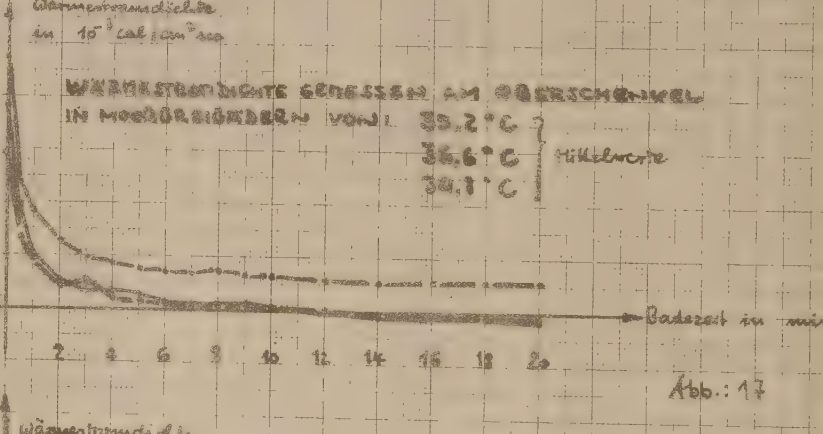


Abb.: 17

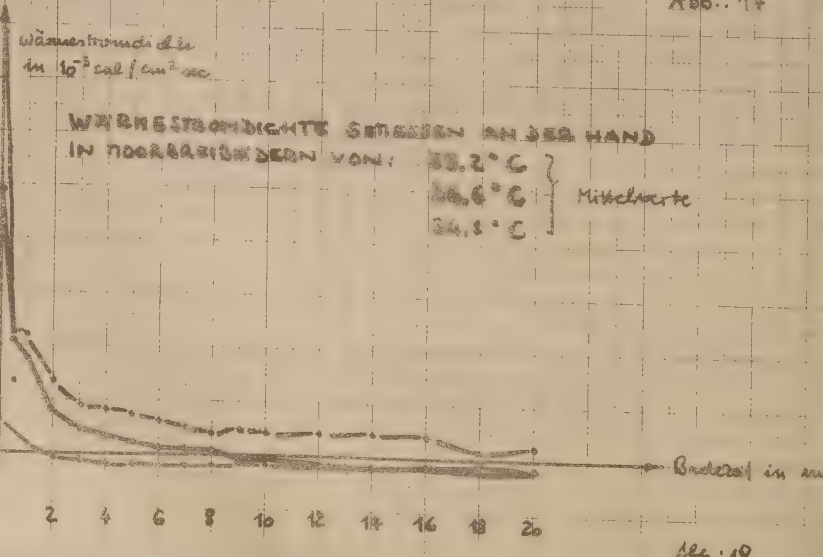


Abb.: 18

Die 36,6°C-Kurve des Bauches beginnt bei $+3{,}17.10^{-3}$ $cal/cm^2 sec$ und erreicht ihre Konstanz nach ungefähr 5-7 Minuten mit $-0{,}5.10^{-3} cal/cm^2 sec$.

Und schließlich beginnt die 39,2°C-Kurve des Bauches bei $+5{,}86.10^{-3} cal/cm^2 sec$, um nach 8-10 Minuten auf $0{,}80.10^{-3} cal/cm^2 sec$ zu fallen.

Aus dem Kurvenverlauf leitet sich ab, daß man den Verlauf der Wärmestromdichte in 2 Abschnitte einteilen kann:

1.) in einen Übergangsabschnitt, hier fallen die Kurven ab
   a.) steiler
   b.) flacher Abfall, ca. 4 Minuten dauernd = Anfangsphase des Wärmestromes
2.) in einen annähernd konstanten Kurvenverlauf.

Man kann also sagen, daß sich weitgehende Konstanz nach 8-10 Minuten einstellt. Zu diesem Zeitpunkt dürften dann die Speicherungs- und Entspeicherungsvorgänge in der Schale und auch im Bademedium beendet sein.

3.43 Wärmeströme = Wärmestromdichte mal Fläche.

Zunächst muß nochmal auf folgendes hingewiesen werden: Nicht jede V.P. badete mit Bädern sämtlicher Badtemperaturen, woraus sich auch die Aufteilung in die 3 Temperaturbereiche ergab.

Die Flächenprozentzahlen wurden in Anlehnung an Büttner (1) wie folgt festgelegt:

Oberschenkel	37%
Hand	17%
Brust und Bauch	46%
	100%

Dazu sind noch die Körperoberflächen der V.P. nötig:

	100%
A	1,72 m^2
B	1,61 m^2
C	1,93 m^2
D	2,10 m^2
E	1,71 m^2
F	1,65 m^2
G	2,06 m^2
	12,78 m^2 . 7 = 1,83 m^2 i.M.

Das ergibt eine tatsächlich gebadete Fläche von 1,61 m^2 i.M. Das sind 88% von 1,83 m^2, die 12% Abzug erfolgen für das Gesicht, das außerhalb des Bademediums lag.
An Hand des folgenden Beispieles soll der Weg aufgezeigt werden, der eingeschlagen wurde, um zu jeder der gemessenen Zeiten die geflossene Wärmemenge zu ermitteln:

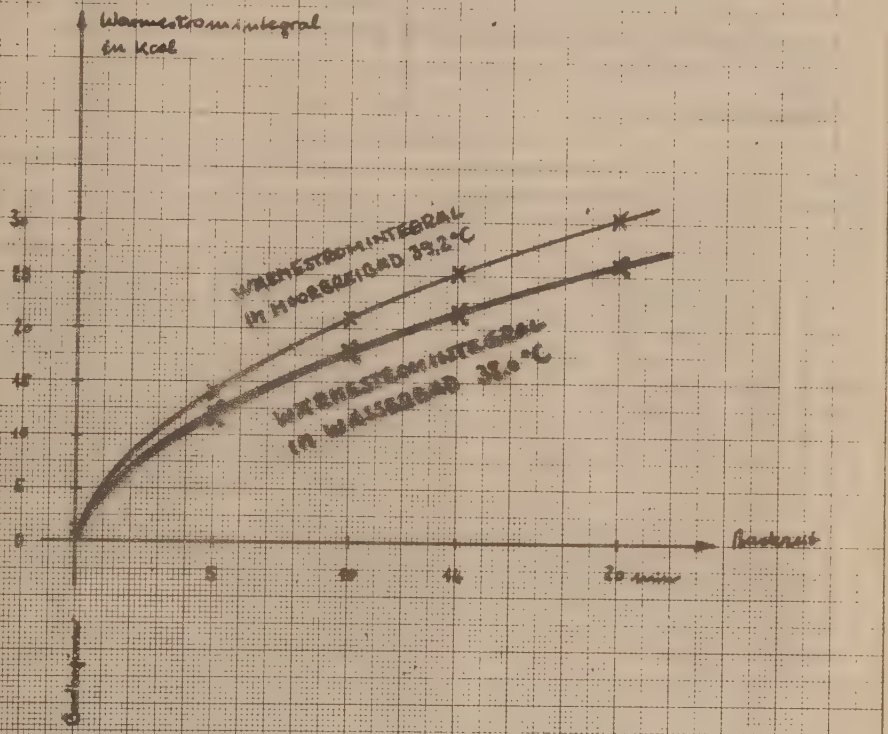
Wärmestromdichte am Bauch bei 39,2°C Moorbreitemperatur.

nach dem Eintauchen	Zeit	Wärmestromdichte			Wärmestrom $\frac{cm^2}{cm^2}$ in cal
	10''	+ 5,86 x 10^{-3} $\frac{cal}{cm^2 sec}$	x 10"=+	58,6x10^{-3} $\frac{cal}{cm^2}$	58,6x10^{-3}
	30"	4,26	30"=+	127,9 + 58,6	186,5
	1'	3,19	30"	95,6 + 186,5	282,1
	2'	2,55	60"	153,0 usw.	435,1
	3'	2,04		122,4	557,5
	4'	2,06		123,5	681,0
	5'	1,55		93,0	774,0
	6'	1,33		79,9	853,9
	7'	1,11		66,6	920,5
	8'	1,07		64,2	984,7
	9'	1,01		60,6	1045,3
	10'	0,93		55,7	1101,0
	12'	0,92	120"=	110,0	1211,0
	14'	0,87	120"=	104,4	1315,4
	16'	0,70		84,0	1399,4
	18'	0,66		79,1	1478,5
	20'	0,50		60,0	1538,5

D.h. nach z.B. 20 Minuten Badezeit waren unter Berücksichtigung der gebadeten Körperflächen und des Anteiles der Meßstellen Bauch

$$\frac{+ 1538{,}5 \text{ cal} \times 16100 \text{ cm}^2 \times 46\ \%}{\text{cm}^2 \times 1000 \times 88\ \%} = + 12950 \text{ cal} \approx + 13{,}0 \text{ Kcal}$$

vom Bad zum Körper geflossen.



TRANSPORTIERTE WÄRMEMENGE IN KCAL, BEI EINEM:

MOORBREIBAD VON 39,2°C

SOWIE EINEM

WASSERBAD VON ANNÄHERND GLEICHER TEMPERATUR

Abb.: 13

In folgender Tabelle sind die transportierten Wärmemengen in Kcal nach 14 und 20 Minuten Badezeit bzw. bei der Badtemperatur von 39,2°C bei Badbeginn, 5 ; 10 ; 14 ; 20 ; zusammengestellt.

Meß-stelle	Moorbreitemperatur								
	34,8°C		36,6°C		39,2°C				
	nach		nach		nach				
	14'	20'	14'	20'	Badb.	5'	10'	14'	20'
O	+3,2	+2,7		+2,4	+0,6	+5,2	+8,0	+ 9,9	+12,6
H	-0,5	-0,7		+1,1	+0,5	+2,6	+3,5	+ 4,2	+ 4,9
B	-5,1	-7,7		-4,1	+0,5	+6,5	+9,3	+11,1	+13,0
	-2,4	-5,7		-0,6	+1,6	+14,3	+20,8	+25,2	+30,5

Die Abb. 19 ist eine zeichnerische Darstellung der geflossenen Wärmemenge bei einem Breibad von 39,2°C (Wärmestromintegral), wobei die ermittelte Wärmemenge vom Moor- und Wasserbad (Kampe (17)) bei Badbeginn, nach 5, 10, 14, und 20 Minuten Badezeit aufgezeichnet wurden.
Bei den hier verglichenen Bäderarten kommt es im Verlauf des 20 Minuten dauernden Bades zu keiner bilanzmäßigen Äquivalenz.

3.44 Wärmedurchgangswiderstände

Der Wärmedurchgangswiderstand ist der Widerstand, den die Wärme überwinden muß, wenn sie vom umgebenden Bademedium in den Körperkern oder umgekehrt vom Körperkern in das Bademedium gelangen will. Dieser Gesamtwärmedurchgangswiderstand läßt sich in einen inneren, zwischen Körperkern und Körperoberfläche und einen äußeren Widerstand zwischen Körperoberfläche und Bademedium teilen. Es wurden mit Hilfe der schon gefundenen Wärmeströme pro Körperflächeneinheit die Wärmedurchgangswiderstände berechnet. Zur Entwicklung der Formel siehe K. Dirnagl (14). Das Ergebnis dieser Überlegung ist in folgenden Formeln ausgedrückt:

$Ri = \frac{\vartheta_K - \vartheta_F}{q}$

$Ra = \frac{\vartheta_F - \vartheta_B}{q}$

$R\ ges = Ri + Ra;$

q = Wärmestromdichte
Ri = innerer WDW (Wärmedurchgangs-widerstand)
Ra = äußere WDW
Rges = gesamter WDW
ϑ_K = Kerntemperatur
ϑ_F = Folientemp.
ϑ_B = Badtemp.

Dabei wäre zu bemerken, daß der WDW (Wärmedurchgangs-widerstand) streng genommen nur für statische Zustände gültig ist.

Der innere WDW ergab sich aus der Differenz der Rectaltemperatur, bzw. Sublingualtemperatur und der Folientemp. dividiert durch die für die betreffende Stelle ermittelte Wärmestromdichte.

Der äußere WDW besteht aus der Differenz Folientemp. - Badtemperatur, dividiert durch die Wärmestromdichte.

Folglich ist der Gesamtwärmedurchgangswiderstand die Summe des inneren und äußeren WDW, die dazu gehörende Dimension ist $cm^2 sec\ ^oC / cal$.

Die Berechnungsmethoden werden nun zur besseren Verständigung an Hand eines Beispieles erläutert.
Versuch 14 - G_2 nach 10 Bademinuten:

1) R_{Bi}- innerer Wärmedurchgangswiderstand

Dabei ist noch zu bemerken, daß sich der innere Wärmedurchgangswiderstand einmal aus der Rectaltemperatur und einmal aus der Sublingualtemperatur ermitteln läßt. Das arithmetische Mittel aus beiden Ergebnissen wurde als R_{Bi} angesprochen. Bei der V.P. fand sich nach 10 Minuten Badezeit in einem Bade von 40^oC (ϑ_{Bad}) eine Rectaltemperatur von $37,8^oC$ (ϑ_R), bzw. eine Sublingualtemperatur von $37,2^oC$ (ϑ_S) und eine Folientemperatur (z.B. am Bauch) von $38,5^oC$. (ϑ_B)
Die dazugehörende Wärmestromdichte q wurde mit $-1,03 \times 10^{-3} cal/cm^2 s$ gemessen.

In die Formel eingesetzt ergibt das:

$$\frac{\Delta\vartheta_R - \vartheta_B}{q} \text{ bzw. } \frac{\Delta\vartheta_S - \vartheta_B}{q} = \frac{37,8 - 38,5}{-1.03 \times 10^{-3}} = + 0,68 \times 10^3$$

bzw. $+ 1.26 \times 10^3$ ($^{\circ}C\ cm^2\ sec/cal$)

Mittel: $10^3 \times (0,68 + 1,26)/ 2 = 0,97 \times 10^3 = 970\ cm^2 s\,^{\circ}C/$ cal, d.h. der innere Wärmedurchgangswiderstand nach 10 Minuten Badezeit beträgt 970 $cm^2 s\ ^{\circ}C$ / cal am Bauch.

2) R_{Ba}- äußerer Wärmedurchgangswiderstand nach 10 Minuten Badezeit am Bauch

Folientemperatur (Bauch) $\vartheta_B = 38,5^{\circ}C$

Badtemperatur $\vartheta_{Bad} = 40,0^{\circ}C$

Wärmestromdichte $q = -1,03 \times 10^{-3} cal/cm^2 s$

Das ergibt:

$$\frac{\vartheta_B - \vartheta_{Bad}}{q} = \frac{38,5 - 40,0}{-1,03 \times 10^{-3}} = 1,46 \times 10^3\ ^{\circ}C\ cm^2 s\ /cal =$$

$1460\ ^{\circ}C\ cm^2\ s/\ cal$

Der äußere Wärmedurchgangswiderstand nach 10 Minuten Badezeit beträgt (+) $1460^{\circ}C\ cm^2\ s/\ cal$ am Bauch.

3) R_{Bges}- Gesamtwärmedurchgangswiderstand analog vorher ergibt er sich folglich aus der Summe des äußeren und des inneren Widerstandes. Und hier wiederum aus der Rectaltemperatur und aus der Sublingualtemperatur, wobei das arithmetische Mittel beider Ergebnisse den endgültigen R_{Bges} ergeben.

R_{Bges} aus der Sublingualtemperatur: $R_{Bi} + R_{Ba} = 1,26 \times 10^3$
$+ 1,46 \times 10^3 = 2,72 \times 10^3$

R_{Bges} aus der Rectaltemperatur: $R_{Bi} + R_{Ba} = 0,68 \times 10^3$
$+ 1,46 \times 10^3 = 2,14 \times 10^3$

das ergibt somit einen R_{Bges}: $(2,72 + 2,14)/2 = \frac{2,43^{\circ}C cm^2 s}{cal \times 10^{-3}}$

Das sind $2430^{\circ}C\ cm^2 s\ /cal$

Obige Werte wurden von mir einzeln ermittelt, daß sie jedoch auch einzeln errechnet werden können, zeigt folgendes kleines Rechenexempel:

$$R_i + R_a = R_{ges}$$

$$\frac{\vartheta_{R_S} - \vartheta_H}{q} + \frac{\vartheta_H - \vartheta_{Bad}}{q} = \frac{\vartheta_{R_S} - \vartheta_{Bad}}{q}$$

durch Ausklammern des q ergibt sich:

$(\vartheta_R - \vartheta_{Bad})/q = (\vartheta_R - \vartheta_{Bad})/q$ bzw.

$(\vartheta_S - \vartheta_{Bad})/q = (\vartheta_R - \vartheta_{Bad})/q$

Nach dieser Berechnungsmethode wurden sämtliche Wärmedurchgangswiderstände ermittelt und zwar in der 1., 5., 10. und 20. Minute nach Badbeginn. Im Verlauf der Ausarbeitung hat sich jedoch gezeigt, daß in der 1. und 5. Minute noch nicht mit reellen Werten zu rechnen ist, weil die Warmestromdichte wegen der Speicherungsvorgänge in der Schale noch nicht konstant ist.

4.0 Besprechung der Versuchsergebnisse

Zur vollständigen Darstellung der thermischen Vorgänge soll hier noch auf die Versuchsbedingungen, die für den Wärmeübergang im Bad und an den Badenden maßgebend sind, eingegangen werden.

Mißt man die Temperatur eines Moorbreies in einer hölzernen Badewanne an verschiedenen Stellen, so sieht man, daß die Temperatur nicht überall gleich ist. Folgende Temperaturverteilung gibt ein Beispiel:

	Wannenmitte	ca. 1 cm vom Rand entfernt
Moorbreioberfläche:	34,8°C	33,6°C
in ca. 15 cm Tiefe:	35,0°C	34,5°C
Wannenboden, 30 cm tief:	34,7°C	34,0°C

Im Wannenzentrum bemerkt man kaum Abkühlung, dagegen am Rand einen Temperaturanstieg zur Mitte um 0,9°C, dann wieder einen Abfall um 0,5°C zum Wannenboden.

Auch im Bademedium kann man, was die Temperatur anbetrifft, einen annähernd gleichbleibenden Kern feststellen, der zur Oberfläche, zum Boden und zu den Rändern der Wanne Wärme angibt. Dieses wichtige Ergebnis trägt zu folgender Überlegung bei: Es sollte bei künftigen, ähnlich ge-

lagerten Versuchen darauf geachtet werden, daß die Temperatur des Bademediums eben nicht an allen Stellen und vor allem nicht zu jeder Zeit gleich ist. Diese Temperaturänderung des Mediums wurde bei uns, in Ermangelung einer geeigneten Meßvorrichtung nicht berücksichtigt. Vielleicht könnte man mit einer Art " Meßgabel ", die die Badtemperatur in gleichbleibenden Abständen von der Meßfolie anzeigt, genauere Ergebnisse erzielen.
Für die Auskühlung des Bademediums verantwortlich sind: Oberflächengröße, Material der Wanne, Lufttemperatur, Menge des Bademediums, spez. Wärme und Wärmeleitfähigkeit. (Ipser).

Im Moorbrei als Bademedium erfolgt der Wärmetransport überwiegend durch Leitung (im Gegensatz zu Wasser als Bademedium). Die konvektive Wärmeübertragung ist infolge großer Zähigkeit des Moorbreies sehr gering (14).
Außer den rein thermischen Kennwerten des Bademediums sind noch seine Dichte, die Zähigkeit und die geometrische Konfiguration für den Wärmeübergang wichtig. An der gebadeten Körperoberfläche kommt es zur Ausbildung einer Grenzschicht, die in dickbreiigen Bädern praktisch unendlich groß werden kann (22). Unter Bedingungen, wie sie Ipser zitiert hat, ist die Temperatur der Grenzschicht um einige Zehntel Grad im Wasser und einige Grad C im Peloidbad niedriger als die übrige Badtemperatur bei höheren Badtemperaturen, bzw. höher bei niederen Temperaturen. Die Differenz zwischen Grenzschichttemperatur und tatsächlicher Badtemperatur ist um so größer, je höher die Badtemperatur liegt und umgekehrt.

Für die Wirkung eines Bades ist nur die Temperatur dieser Grenzschicht, die von Ipser als effektive Temperatur (= Temperatur der Grenzschicht an der Hautoberfläche) bezeichnet wird, verantwortlich. Eine Änderung der Grenzschicht erfolgt durch intensives Durchmischen des Moorbreies oder durch Bewegung. Dabei wird die freie Konvektion durch eine erzwungene überlagert und infolge Zufuhr von neuer Wärme kommt es zu einem intensiveren Wärmeaustausch.

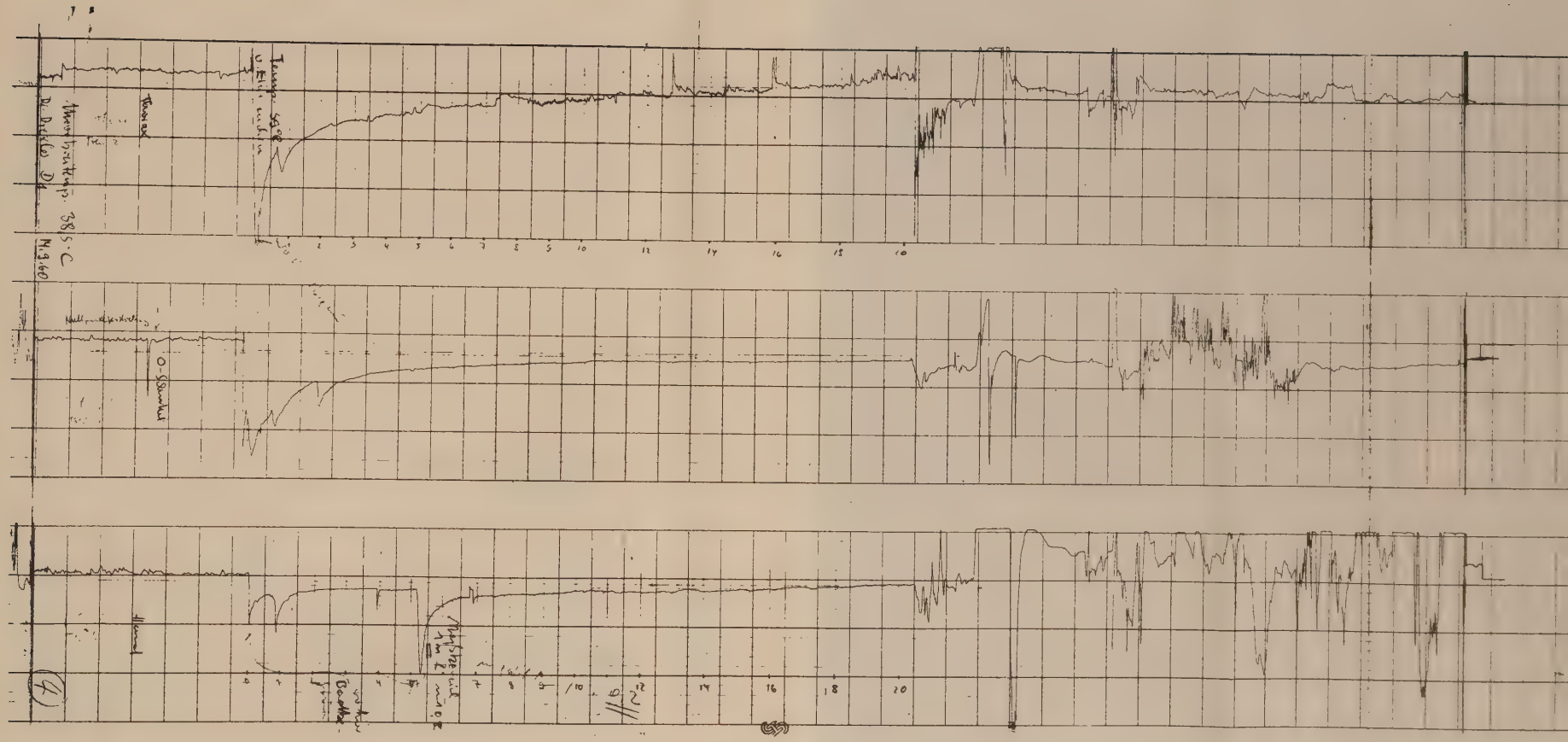


Abb.: 20 – Originalkurve d. Wärmestrahlendichte, gemessen am Thorax, Oberschenkel und an der Hand bei einem 20 Min. dauernden Heißbad von 38,5°C

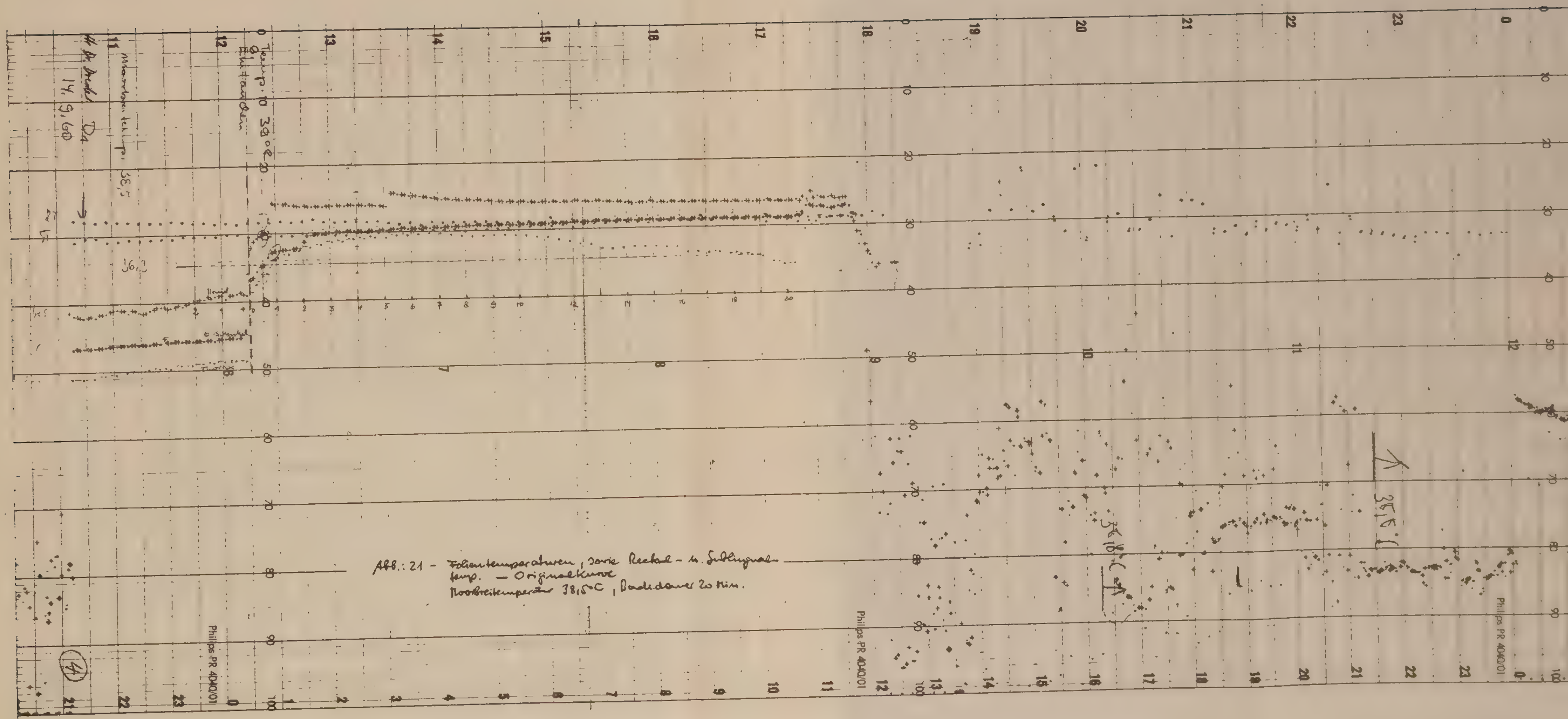


Abb.: 21 - Folientemperaturen, sowie Rectal- u. Sublingualtemp. — Originalkurve
Moorbreitemperatur 38,5 °C, Badedauer 20 Min.

Betrachten wir den Versuch D1 an der Hand, bei dem während des gesamten Badeverlaufes starke Bewegungen stattfanden, so sehen wir stoßweise Veränderungen der Wärmestromdichte (Abb. 20, 21)
Ipser konnte in seinen ähnlich gelagerten Versuchen eine Temperaturzunahme an der Hautoberfläche bei Bewegungen um 5-6°C feststellen. Neben der Änderung der Grenzschicht könnte für den Temperaturanstieg an den sich bewegenden Stellen auch noch die Arbeitsleistung (= Wärmeerzeugung), die zur Überwindung der Reibungswiderstände im Moor dient, verantwortlich sein, jedoch fällt nach quant. Überlegungen diese Temperatur kaum ins Gewicht.

Weiterhin sollen hier die thermischen Vorgänge im Organismus des Badenden skizziert werden. Der Mensch, ein homoiothermes Wesen, benötigt zur Aufrechterhaltung seiner Lebensfuktionen eine optimale Temperatur. Zu diesem Zweck stehen ihm zwei Steuerungseinrichtungen zur Verfügung: Regelung der Wärmeproduktion = chemische Wärmeregulation und die Regelung der Wärmeabgabe = physikalische Wärmeregulation.
Im homoiothermen Körperkern, der von Burton mit 65% des Gesamtvolumens angegeben wird und zu dem nach Aschoff vorwiegend die Organe mit hohem Stoffwechsel, wie die Brust, Bauch und Schädelhöhle zählen, werden die aufgenommenen Nahrungsmittel bzw. deren Bausteine beim Zusammentreffen mit Sauerstoff unter Freiwerden von Energie verbrannt. Dabei treten Oxydationen auf, deren Endprodukte CO_2 und H_2O sind.
1 g Fett liefert bei seiner Verbrennung 9,4 kcal,
1 g Kohlehydrat 4,2 kcal und 1 g Eiweiß 4,3 kcal.
Die in den Höhlen liegenden Organe geben die Wärme an das arterielle Blut ab, das zur Peripherie strömt und sich mit den kühleren Körperteilen berührt. Dabei kann es Wärme abgeben; außerdem besteht die Möglichkeit der Wärmebildung durch Sauerstoffabgabe. Also kann letztlich je nach Bedarf überall in den Geweben Wärme entstehen, jedoch ist der Anteil verschieden groß.

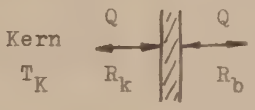
Die poikilotherme Schale, auf die 35% des Gesamtvolumens entfallen und zu der der restliche Körper gehört, besitzt eine von der Außentemperatur abhängige Dicke und somit auch wechselnde Isolationsfähigkeit. Ihre Dicke wird mit 1-2,5 cm angegeben (Ipser), bei niederer Temperatur der Umgebung nimmt die Schale die gesamten Extremitäten ein. Für die Haut und natürlich auch den Kern gibt es also folgende Arten des Wärmeumsatzes:

1. Die Wärmebildung durch Verbrennung an Ort und Stelle, die jedoch wegen der geringen Masse der Haut z.B. klein ist.
2. Der Blutstrom. Das warme arterielle Blut dringt in den Kapillaren bis dicht unter die Oberhaut und gibt hier seine Überwärme restlos ab. Da der Blutstrom eine stark variable Größe hat, kann dieser Anteil größer oder kleiner sein, ja sogar entfallen.
3. Der Wärmeleitungsstrom, der im ruhenden Medium durch Temperaturgefälle entsteht und der diesem Gefälle und der Wärmeleitzahl λ proportional ist.

Die Wärmeübertragung von der Schale zum Kern oder umgekehrt, erfolgt vorwiegend konvektiv über den Blutstrom und nur gering über Leitung (1). Das bedeutet, daß die aufgenommene Wärme von Hautstelle zu Hautstelle, von Augenblick zu Augenblick je nach Größe der Durchblutung variieren kann und eine strenge theoretische Besprechung unmöglich macht. Um trotzdem Aussagen machen zu können, ist man gezwungen, mehr oder weniger drastische Vereinfachungen zu treffen, deren Zulässigkeit jeweils sorgfältig erwogen und am besten durch Meßergebnisse geprüft werden muß.

Der Wert unserer Versuche lag vor allem darin, daß es möglich war, experimentell während eines Moorbreibades zugleich an mehreren Körperstellen quantitative Wärmestrommessungen durchzuführen. Die Vielzahl der Messungen und die dadurch gewonnene Routine ermöglichte teilweise sehr genaue Ergebnisse.

Zur besseren Verständigung seien nochmals die quantitativen Beziehungen an Hand einer Skizze gezeigt, die den Wärmeübergang aus dem Bad in den Körper beherrschen:



T_K = Kerntemperatur
T_B = Temp. des Bades
R_k = Widerstand d. Kernes
R_b = Widerstand d. Bades

Haut (Schale) = poikilothermer Puffer

Daraus und aus vielfach veröffentlichten Definitionen ergibt sich für die Wärmestromdichte nachsthende Formel:

$$Q = \frac{T_B - T_K}{R_b + R_k} \times F$$

Q = Wärmestromdichte
F = Fläche

Da wir die Wärmestromdichte messen konnten, war es zweckmäßig zur Ermittlung der Widerstände die Gleichung nach $R = R_b + R_k$ aufzulösen. (Siehe auch unter 3.44 Wärmedurchgangswiderstände).

$$R = \frac{T_B - T_K}{Q} \times F$$

Die Zusammenfassung der verschieden temp. Bäder zu insgesamt nur 3 Badtemperaturen mit mittleren Temperaturen von 34,8; 36,6 und 39,2°C brachte es mit sich, daß man bei den in der Besprechung der Versuchsergebnisse benützten Werten (die auch im Abschnitt 3-Versuchsergebnisse, größtenteils entsprechend ermittelt wurden) nicht von Ergebnissen einzelner Individuen sprechen kann, sondern sie betreffen Versuchspersonengruppen; die zugehörige Modell - V.P. wurde durch Mittelung aus den jeweiligen Werten von mehreren V.P. gewonnen. Der Grund für diesen Schritt lag darin,daß die einzelnen Versuchspersonen erheblich differierende Meßergebnisse zeigten, die eine Besprechung sehr erschwert hätten. Wir hatten nämlich Versuchspersonen verschiedenen Alters, Geschlechtes, sowie

verschiedener Körperkonstitution (siehe auch unter 2.32), wobei es allgemein anerkannt ist, daß große Unterschiede in der von Individuum zum Individuum wechselnden Reaktionsfähigkeit bestehen (23).

Zunächst sollen jedoch die Kern- und Folientemperaturen vor Badbeginn diskutiert werden.

Unter konstanter Raumtemp. von 28°C zeigten uns die Messungen Rectaltemp. i.M. über sämtliche 14 Versuche hinweg von 37,6°C. Dabei konnten maximale Schwankungen von 0,6°C (37,2 - 37,8) von Versuchstag zu Versuchstag an ein und derselben V.P. registriert werden. Die subl. Temp. lagen zwischen 36,9 und 38,2°C, i.M. 37,4°C, also um 0,2° niederer als die mittlere Rectaltemp. Diese Mittelwerte lassen sich nicht ohne weiteres mit den Ergebnissen von Hensel (rect: i.E. 36,2 - 37,8, i.M. 37,0°C) oder mit denen von Kampe (rect: i.E. 36,6 - 37,1 bzw. 36,5 - 36,8°C subl.) vergleichen. Mögliche Ursache der verschiedenen Kerntemperaturen wären jahreszeitliche Schwankungen: Kampe führte seine Versuche im Winter durch, wir im Sommer, Hensel zu einer uns nicht bekannten Jahreszeit. Unsere etwas höhere mittlere Rectaltemperatur könnte auch die Folge ihrer Lage vor dem Bad sein:
Die V.P. lagen längere Zeit dicht über dem angemachten Moorbrei (ca. 10 cm.). E. Grafe gibt (24) eine optimale rect. Temp. eines gesunden Menschen zwischen 37,0 u. 37,5°C an. Weiter schreibt er: "jedoch ist diese Konstanz schon bei Gesunden nicht so weitgehend und unerschütterlich." Neben tageszeitlich bedingten regelmäßigen Schwankungen sei eine Änderung durch Anstrengung dicker und untrainierter Leute möglich. Die Streubreite bei den einzelnen V.P. von Tag zu Tag lagen bei uns rect. und subl. zwischen 0 und 1,3°C, was uns anzeigt, daß der Körperkern zur gleichen Tageszeit von Tag zu Tag unter gleicher Außentemp. (28°) bei den einzelnen V.P. verschieden hohe Innentemperatur aufweisen kann, wobei zu berücksichtigen ist, daß unsere V.P. nur ab ca. der 15. Minute vor Badbeginn beobachtet wurden.

Die Folientemperatur vor dem Bad sowie die Streubreite von Versuch zu Versuch und Person zu Person sind im Kapitel 3.21 beschrieben. Die gemittelte Hauttemperatur lag bei uns bei 32,87°C, 34,48°C gibt Kampe (17) an, und Wetzler und Neuroth (21) haben 34,2°C ermittelt. Es ist anzunehmen, daß die Differenz mit unseren Messungen aus der geringeren Anzahl von Meßstellen unsererseits resultiert. Während i.M. über alle V.P. die Rectaltemperatur während des Versuches keinerlei Änderung zeigt und die Sublingualtemperatur sogar teilweise eine Abnahme, sehen wir bei den Wasserbädern von Kampe mit gleicher Temperatur eine Zunahme der Kerntemperatur. Diese Zunahme dürfte einmal durch eine längere Badezeit (30 gegen 20 min.), zum anderen aber durch die Tatsache bedingt sein, daß im Verlaufe eines Wasserbades gleicher Temperatur mehr Wärme zugeführt wird. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich also nicht um wärmebilanzäquivalente Bäder. Ein Moorbreibad von 39,2°C zählt daher auch, betrachtet von der Rectal- und Sublingualtemperatur durchaus zu den "indifferenten" Bädern, da es im Versuchszeitraum i.M. die Kerntemperatur nicht erhöht.

Es ist deshalb gerechtfertigt in Badeorten zur Erreichung einer allgemeinen Hyperthermie, d.h. eines Temperaturanstieges des Kernes Moorbäder von ca. 42°C zu verabreichen. Wurde nun der Körper einer "V.P." in ein Moorbreibad von 34,8°C gebracht, so ergab sich folgendes Bild: Die Wärmestromdichte gemessen am Bauch war anfangs negativ $-3x10^{-3}$ cal/cm^{2}sec., fiel nach 2-3 Minuten auf $-0,8x10^{-3}$, um dann konstant zu bleiben. Die mittlere Folientemperatur betrug unmittelbar nach dem Eintauchen 32,79°C, vor dem Bad 32,87°C. Sie fiel also um 0,08°C. Die Rectaltemperatur fiel von 37,6 auf 37,5° i.M. um 0,1°C, die Sublingualtemperatur sogar um 0,3°C von 37,3° auf 37,0°.
Bei einem Bad, das über dem thermischen O-Punkt liegt, konnten wir das thermische Verhalten des Körpers als genau umgekehrt betrachten:
Bei einer gemittelten Badtemperatur von 39,2°C betrug die Wärmestromdichte am Bauch bei Badbeginn + $5,86 \times 10^{-3}$ nach

8 - 10 Minuten 0,80 x 10^{-3}; das bedeutet, daß nach dieser Zeit der Wärmestrom pro Zeiteinheit annähernd gleich wird (Konstanz). Die mittlere Folientemperatur unmittelbar nach dem Eintauchen lag bei 33,92°C, vor dem Bad bei 32,87°C. Sie stieg somit um 1,05° an. Die Rectal- und Sublingualtemperaturen änderten sich im Verlaufe des Bades nicht. Ihre Differenz beträgt 0,2°C (Rectaltemperatur 37,6; Sublingualtemperatur 37,4). Diese Beobachtungen decken sich grundsätzlich mit den von Kampe und Ipser gemachten, jedoch mit einem nicht zu übersehenden quantitativen Unterschied - wir beobachten einen relativ unbedeutenden Eintaucheffekt. Ipser versteht darunter ein mehr oder weniger ausgeprägtes Steigen oder Fallen der Folientemperaturen nach Badbeginn. Während Kampe bei einem Wasserbad von 30,2° Temperaturstürze von 3,48°C feststellte, waren es im Moorbad nur 0,8°C. Bei den Bädern über dem thermischen O-Punkt stiegen die mittleren Folientemperaturen im Wasserbad um 4,62°, im Moorbad dagegen nur 1,05°C - also wiederum wesentlich weniger, jedoch auch im entgegengesetzten Sinne wie bei Bädern unter dem thermischen O-Punkt.

Dieser in jedem Falle vorhandene Wärmestrom erklärt sich zunächst als Eintaucheffekt, im Sinne eines initialen Wärme- oder Kältestoßes, wie ihn Ipser (12) bezeichnet. Beim Eintritt in das Bad ist die Hautoberfläche der V.P. anfangs der wirklichen Bademediumstemperatur ausgesetzt, bevor sich das Gleichgewicht in der Grenzschicht einstellt und die sog. effektive Moorbreitemperatur zur Wirkung kommt, die ausschließlich über die thermische Wirkung entscheidet. Die geringe Leitfähigkeit des Moorbreies und die wesentlich dickere Grenzschicht bedingt durch die hohe Zähigkeit des Moores, dürfte in der Hauptsache die Ursache der unbedeutenden Eintaucheffekte sein. Diese Tatsache fanden wir immer wieder an den äußerst ruhigen Kurvenverläufen bestätigt. Die nach unseren Erfahrungen nach spätestens 10 Minuten eintretende Konstanz der Wärmestromdichte beruht auf den zu dieser Zeit etwa abgeschlossenen Veränderungen in

der Schale. Die "Körperschale" hat ein bestimmtes Wärmespeicherungsvermögen, das durch ihren Wärmewiderstand beeinflußt, dessen Größe wiederum vorwiegend von der Durchblutung der Haut und den hautnahen Schichten bestimmt wird, d.h. von der Weite der Gefäße und von der anatomischen Struktur der Haut und der hautnahen Schichten (fettarm, fettreich, wenig Gefäße). Betrachtet man irgendeine Wärmestromkurve, so fällt auf, daß die Wärmestromdichte mit hohen Zahlenwerten anfängt und steil abfällt, um nach einer bestimmten Zeit wesentlich flacher abzufallen. Das ist folgendermaßen zu erklären: Der Wärmespeicher der "Schale" wird über den Wärmewiderstand von außen mit Wärme aufgefüllt, der Wärmebestand der Schale ändert sich, nicht jedoch der des Kernes. Im Moment des Eintauchens wirkt auf die Hautschichten die tatsächliche Badtemperatur ein. In dieser Zeit und kurz danach erfolgt der Wärmeaustausch sowohl im Bademedium als auch in der Haut nur durch Leitung. Die Oberflächentemperatur zeigt sofort Werte, die durch die vorher in der Haut und im Bademedium herrschende Temperatur einerseits, andererseits durch die sog. Wärmeeindringzahl $b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \varrho}$ bestimmt wird. (c = spez. Wärme ϱ = spez. Gewicht, λ = Wärmeleitzahl). λ ist eine physikalische Konstante des Gewebes, für wässeriges Gewebe ist sie größer als für das Fett, das unter dem Hautgewebe liegt. Eine Fettschicht kann bei starker Auskühlung als Hauptisolator dienen, da durch sie ein Wärmefluß fast nur konvektiv erfolgt. Mit steigender Erwärmung aber steigt die Durchblutung und somit sowohl der Wärmeaustausch auf konvektivem Wege als auch der auf Grund der Wärmeleitzahl. Die Geschwindigkeit mit der sich die Wärme fortpflanzt, heißt Temperaturleitzahl $a = \frac{\lambda}{c \cdot \varrho}$ ihr Kehrwert = Wärmehaltung. In den ersten 5 Minuten nach Badbeginn können also die Wärmedurchgangswiderstände nicht auf die übliche Weise berechnet werden, da in dieser Zeitspanne Verschiebungen durch etwaige Aufnahme von Speicherwärme entstehen können.

Bei den Bädern um den Indifferenzpunkt kommt es zu einer Umkehr der Wärmestromrichtung, zu Beginn wird Wärme zugeführt, später erfolgt Wärmeabgabe vom Körper.
Die verhältnismäßig ruhigen Kurvenverläufe sind auch auf der Abb. 6 zu erkennen: Hier sind die Folientemperaturen nach der 1., 10. und 20. Minute Badezeit in Abhängigkeit der Badtemperatur aufgezeichnet. Der Tangens des Neigungswinkels dieser Geraden gibt Auskunft über das Verhältnis der Folientemperatur zur Badetemperatur. Allgemein fällt auf, daß sämtliche Meßstellentemperaturen nach 10 Minuten mehr zu einem Angleich der Folien zur Badetemperatur neigen, während nach 20 Minuten diese Neigung wieder geringer wird. Kompliziert wird die Interpretation dieses Vorganges dadurch, daß die Schnittpunkte dieser Geraden an allen Meßstellen mit der Badedauer zu einem Anstieg der Oberflächentemperatur führen.
In der Abb. 7 sind auch die Folientemperaturen eingezeichnet, die gleich der Badtemperaturen sind (Isotemperaturen). Vergleicht man dieses "Gesamtergebnis" mit Einzelergebnissen, so herrscht nicht immer Übereinstimmung. Besonders auffallend sind die Unterschiede der Ergebnisse der Meßstellen, die am Rand oder in der Nähe der Oberfläche des Bademediums lagen. Sie steigen grundsätzlich mit der Dauer der Badezeit an, immer voraus die Hand, die sich wegen ihres großen Verhältnisses Oberfläche-Volumen, ziemlich schnell den hohen Badetemperaturen anpaßte.
Der Oberschenkel folgte in fast gleichem Abstand.

	nach 1'32°C	nach 10'34°C	nach 20'36°C	pro 10'um 2°C
H	33	35,5	37	um 2,5 bzw. 1,5
B	-	35,5	36	- bzw. 0,5

Am geringsten wurde offenbar der Körperstamm beeinflußt, und das mußte so sein, wenn man die Sublingual- und Rectaltemperatur im Verlauf der 20 Minuten Badezeit betrachtet. Es ist, was die Beeinflußbarkeit des Körpers durch den Moorbrei betrifft, ein Gefälle von einem relativ unempfindlichen Kern zur Schale zu beobachten. Das zeigen auch im

einzelnen die Abb. 3, 4, 5: Gleichbleibende Kerntemperatur, sich ändernde Temperatur der zur Schale gehörenden Meßstellen nach 20 Minuten Badezeit.
Der integrale Wärmestrom wurde von uns für Breibäder ermittelt, damit man abschätzen kann, wie groß der Wärmestrom bei verschiedenen Temperaturen bezogen auf die gesamte Körperfläche nach 20 Minuten Badezeit ist. Mit diesen Werten wurde eine Wärmebilanz nach 15 Minuten Badezeit aufgestellt, die vom balneologischen Gesichtspunkt interessant erscheint.

Wärmebilanz:

Die Wärmebilanz des menschlichen Körpers wird am besten durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$M + A = S + E$

Wobei M die im Körper erzeugte Wärme ist und
A die aus dem Bademedium aufgenommene Wärme.
Die Summe dieser beiden muß gleich der im Organismus gespeicherten Wärme S und der nach außen abgegebenen Wärme E sein.

Da die vom Organismus aufgenommene Wärme (A) bei uns gemessen wurde, sind wir vor allem an der im Oranismus gespeicherten Wärme interessiert. Es ergibt sich somit die umgestellte Gleichung:

$$S = M + A - E$$

Im folgenden soll nun das S für z.B. ein Moorbad von 39,2°C bestimmt werden und zwar nach 15 Minuten Badezeit.

Bei 39,2°C Badtemperatur wurde unter Berücksichtigung der Fläche der V.P. 25,2 kcal Wärme vom Körper aus dem Bad aufgenommen.
(Bei einem vergleichbaren Wasserbad von 40°C wurden nach 15 Minuten 39 kcal aufgenommen. Kampe (17)).

Die im Körper erzeugte Wärme M richtet sich nach dem Energieumsatz, der im Durchschnitt in 24 Stunden etwa 1700 kcal = 70 kcal/Std. nach Rein (20) = 17,5 kcal/ 15 Minuten ausmacht.

Unsere V.P. befanden sich zwar nicht unter strengen Grundumsatzbedingungen, waren jedoch nicht weit davon entfernt. (Horizontale Lage, keine Nahrungsaufnahme!)

Die vom Körper abgebene Wärme E für die Atemwege bei 28°C Raumtemperatur und 50 - 60% Feuchte beträgt 4 kcal/Std. = 1 kcal/15 Minuten (Ipser). Zur Befeuchtung und zur Erwärmung der eingeatmeten Luft bei einer Raumtemperatur von 28°C und einem Atemvolumen von 10 - 20 Liter rechnet Ipser 0,3 kcal/Std. = 0,085 kcal/15 Minuten. Die von der Atmung abgegebene Wärme würde dann 1,085 kcal/15 Minuten betragen.

Für die wärmeregulatorische Leistung der Kopfhaut gibt Ipser bei 10 - 15 dm^2 Kühlungsoberfläche einen Wert von 48,3 - 72,4 kcal/Std., das ist 12,0 - 18,1 kcal/15 Minuten an. Wir nehmen einen Mittelwert von 15 kcal/15 Minuten an. Die gespeicherte Wärme wäre also nach unserer Gleichung bei einem Bad von 39,2°C

S = 25,2 + 17,5 - (1,085 + 15,0) = 26,1 kcal

Damit ist die vom Organismus gespeicherte Wärme S ungefähr gleich der vom Körper aufgenommenen Wärme.

(25,2 kcal.....26,1 kcal)

Bei einem Bad von 34,8°C, also einem hypothermen Bad wurde Wärme aus dem Bad abgegeben und zwar 2,48 kcal nach 15 Minuten Badezeit.

S = 2,48 + 17,5 - (1,085 + 15) = 3,89 kcal

3,89 kcal .....2,48 kcal

errechneter gemessener Wärmestrom

bei einer gemittelten Badtemperatur von 34,8°C nach 15 Minuten Badezeit.

Diese Ergebnisse zeigen einen deutlichen Unterschied bezüglich des Wärmeausgleiches gegenüber Wasserbädern gleicher Temperatur. Dazu ist noch zu bemerken, daß sich bei all den Vorgängen die Rectal- und Sublingualtemperatur nicht änderte, was letztlich auch Kampe (17) bestätigte.

Als Folge dieser Wärmebilanz kommt die Frage auf: Bis zu welcher Temperatur dürfen Moorbreibäder verabreicht werden, ohne den Organismus zu schädigen. Bei einem 1. Vergleich mit den Wasserbädern müßte es - vom Gesichtspunkt der Bilanz möglich sein, Moorbäder mit wesentlich höherer Temperatur als Wasserbäder zu dosieren; vom Gesichtspunkt der Verträglichkeit ist diese Überlegung abzulehnen. Verordnet und auch vertragen werden Moorbreibäder sicher bis zu 42°, wahrscheinlich auch noch bis zu 45°. Temperaturen von Bädern über dem Indifferenzpunkt führen nämlich zu einer ergotropen Reaktionslage des Körpers. Zunahme des Fördervolumens des Herzens, Steigerung des Minutenvolumens, bis auf das 5-fache (23), Abnahme des Strömungswiderstandes und diastolischer Blutdurckabfall sind die Folgen. Durch Entleerung der Blutdepots und Einströmen von Gewebswasser wird die zirkulierende Blutmenge erhöht und ein lebensbedrohlicher Blutdruckabfall vermieden. Die Herzleistung wird also stark beansprucht. Die hydrostatischen Druckeinwirkungen des Bademediums vermindern jedoch eine Kollapsgefahr. Vorausgesetzt natürlich, daß keinerlei Fehlleistungen des Kreislaufs vorliegen. So etwa wirken sich die Moorbreibäder bis ca. 42° auf den Kreislauf aus.

Würden wir dagegen den menschlichen Organismus einem Moorbreibad von längerer Dauer u. höheren als eben beschriebenen Temperaturen aussetzen, so wäre die Hyperthermie noch ausgeprägter. Es könnte schon im Bad zu einem Kreislaufversagen kommen, teils einem zentral, teils einem peripher bedingten, als Folge des gesenkten Strömungswiderstandes und Versacken des Blutes. Beim Aussteigen aus dem Bade, würde dann in Abhängigkeit der Körpertemperatur und Wegfall des hydrostatischen Druckes ein Kollaps sicher auftreten. Ferner käme es zu einem Wärmestau infolge übermäßiger Wärmezufuhr, die zu einer Kerntemperaturerhöhung und somit auch zu einer Stoffwechselsteigerung führen würde. Die Stoffwechselintensität steigt aber nach der Van't Hoffschen RGT Regel um 17 % je °C Temperaturerhöhung.

Interessant erscheinen uns noch einige vergleichende Werte des Wärmestroms pro cm^2 Körperfläche:
Bei Moorbrei- und Wasserbädern von 34,8°C, 36,6°C und 39,2°C registrierten wir nach 5 Minuten Badezeit:

Badezeit in Min.	Wärmestrom pro cm^2 am Bauch bei					
	34,8°C Badtemp.		36,6°C		39,2°C	
	M.B.[x]	W.B.[xx]	M.B.	W.B.	M.B.	W.B.
5	$-0,73.10^{-3}$	$-1,50.10^{-3}$	-0,37	+2,40	+1,52	$+3,20.10^{-3}$

x Moorbreitemperatur
xx Wasserbadtemperatur

Man sieht, daß Werte des Wärmestroms bei ein und derselben Badtemperatur, jedoch verschiedenen Medien, nicht gleich sind. Warum die verglichenen Bäder nicht gleich sind und nicht gleich sein können, ersehen wir aus den verschiedenen physikalischen Mechanismen.
Das thermophysikalische Verhalten im Körper des Badenden bleibt bei beiden Bäderarten gleich: Der Wärmetransport im Körperinneren erfolgt konvektiv durch den Blutstrom, die weniger wirksame Leitung, die aus dem Temperaturgefälle der einzelnen Gewebsschichten resultiert, spielt eine kleine Rolle.
Anders verhält es sich jedoch bei den Bademedien: Während der Wärmetransport im Wasser vorwiegend durch Konvektion und nur im geringen Maße durch Leitung erfolgt, herrscht im Moorbreibad die Leitung vor der Konvektion vor. Die fehlende freie Konvektion, die durch Temperaturunterschiede im Breibad entstehen würde, ist eine Folge der Zähigkeit des Bademediums. Auf Grund unserer Ergebnisse (Wärmestrom-, Haut-, und Kerntemperaturmessungen) und den möglichen Vergleichen mit den Resultaten aus den Wasserbädern, ist zu schließen, daß bei gleichen Ausgangstemperaturen die Widerstände im Moorbreibad größer sein müssen als im Wasserbad. Die von uns errechneten Wärmedurchgangswiderstände (siehe unter 3,44) bestätigen diese Überlegung.

Am Beispiel unserer "gemittelten Versuchsperson" bei einer Moorbreitemperatur von 39,2°C sehen wir, daß die einströmende Wärmemenge an den 3 gemessenen Stellen, Oberschenkel, Hand und Bauch verschieden ist. Sie beträgt an einer gut durchbluteten Stelle (Hand) nach 20 Minuten Badezeit 4,9 kcal, an einer schlecht durchbluteten (Oberschenkel) 12,6 kcal. Durch die schlecht durchblutete Stelle Oberschenkel fließt also 2,6 x soviel Wärme wie durch die gut durchblutete, der Wärmedurchgangswiderstand der Hand muß größer sein als der des Oberschenkels. (1450 bzw. 1100 cm sec / cal). Dirnagl (14) folgerte aus ähnlich gelagerten Versuchen, daß der Wärmestrom bei Moorbreibädern gleichmäßiger verteilt über die Körperoberfläche eindringt. Damit bei beiden Bäderarten der gleiche Wärmestrom fließt, muß die Temperatur des Moorbreies höher sein, als die des Wasserbades. Diese Reizlosigkeit bedeutet für die Behandlung die Möglichkeit einer anhaltenden und tiefgehenden Durchwärmung des Körpers. Nicht zu vergessen sind bei diesen Überlegungen die unterschiedliche spez. Wärme und Wärmeleitfähigkeit die im Moorbreibad ebenso wie die Wärmestromdichte kleiner sind als im Wasserbad.

Daß die Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes zumindest in den ersten 5 Minuten nach Badbeginn nicht sinnvoll ist, zeigt die Abb. Seite 54.

Hier sind die Kern-, Folien- und Badtemperaturen aufgezeichnet und zwar von einer beliebigen Versuchsperson (andere ergeben ähnlich gelagerte Ergebnisse), eine halbe Minute nach Badbeginn, 10 und 20 Minuten danach. Man sieht, daß ein einseitig gerichtetes Temperaturgefälle erst nach 10 Minuten Badezeit eintritt. Das ist durch die Aufnahme von Speicherungswärme in dieser Zeitspanne bedingt, woraus man den Schluß ziehen muß: Für die genaue Ermittlung von Wärmedurchgangswiderständen muß die Badezeit möglichst länger als 20 Minuten dauern. Darüber hinaus sei in diesem Zusammenhang nochmals auf

unsere Forderung hingewiesen, die sich sicher während der Baddauer ändernden Badtemperaturen unbedingt zu berücksichtigen. Die Handtemperaturen kommen der Voraussetzung für die Ermittlung eines exakten Wärmedurchgangswiderstandes am nächsten, wie man aus der Abb. 22 sieht, - die Hand war während des Bades im Kern des Bademediums, in dem sich die Temperatur am wenigsten änderte. Dagegen lagen der Oberschenkel und der Bauch in den äußeren Zonen des Moorbreies.

Betrachten wir die von uns für gemittelte Badtemperatur von 34,8°C, 36,6 und 39,2 zuständigen inneren Wärmedurchgangswiderstände, so ist folgendes zu beobachten: Mit zunehmender Badedauer und Badtemperatur werden die inneren Wärmedurchgangswiderstände am Bauch und Oberschenkel kleiner. Interessanterweise sind jedoch die inneren Wärmedurchgangswiderstände bei einer Badtemperatur von 39,2°C in der 10. Minute kleiner als in der 20. Minute. Das könnte die Folge einer anfangs stark vermehrten Durchblutung sein, die sich mit zunehmender Badezeit wieder verringert.

Bei niederen Badtemperaturen (34,8 und 36,6°C) ist am Bauch und Oberschenkel keine kontinuierliche Wärmezufuhr möglich, da die inneren Wärmedurchgangswiderstände nach 10 als auch nach 20 Minuten nach Badbeginn relativ hoch sind.

Nur bei "hoher" Temperatur (39,2) sind die inneren Wärmedurchgangswiderstände an den besagten Stellen kleiner bzw. relativ klein.

Dagegen ändern sich die äußeren Wärmedurchgangswiderstände nicht so ausgeprägt, so daß nach einer geringen Badezeit die Wärmezufuhr im Organismus vom äußeren Wärmedurchgangwiderstand bestimmt wird. Unter diesen Bedingungen werden zunächst schlecht durchblutete Hautstellen mit relativ niedriger Oberflächentemperatur mehr erwärmt, als von vornhinein gut durchblutete Stellen mit relativ hoher Ausgangstemperatur. Hierin findet eine bislang rein empirische Erfahrung ihre Bestätigung. Zugleich geht aus

TYPISCHE KERN-, FOLIEN- (OBERSCHENKEL-, HAND u. BAUCH), UND BADTEMP., GEMESSEN NACH ½ min, 10 min u. 20 min BADEZEIT IN MOORBREI. HIER V.P. 11-D2

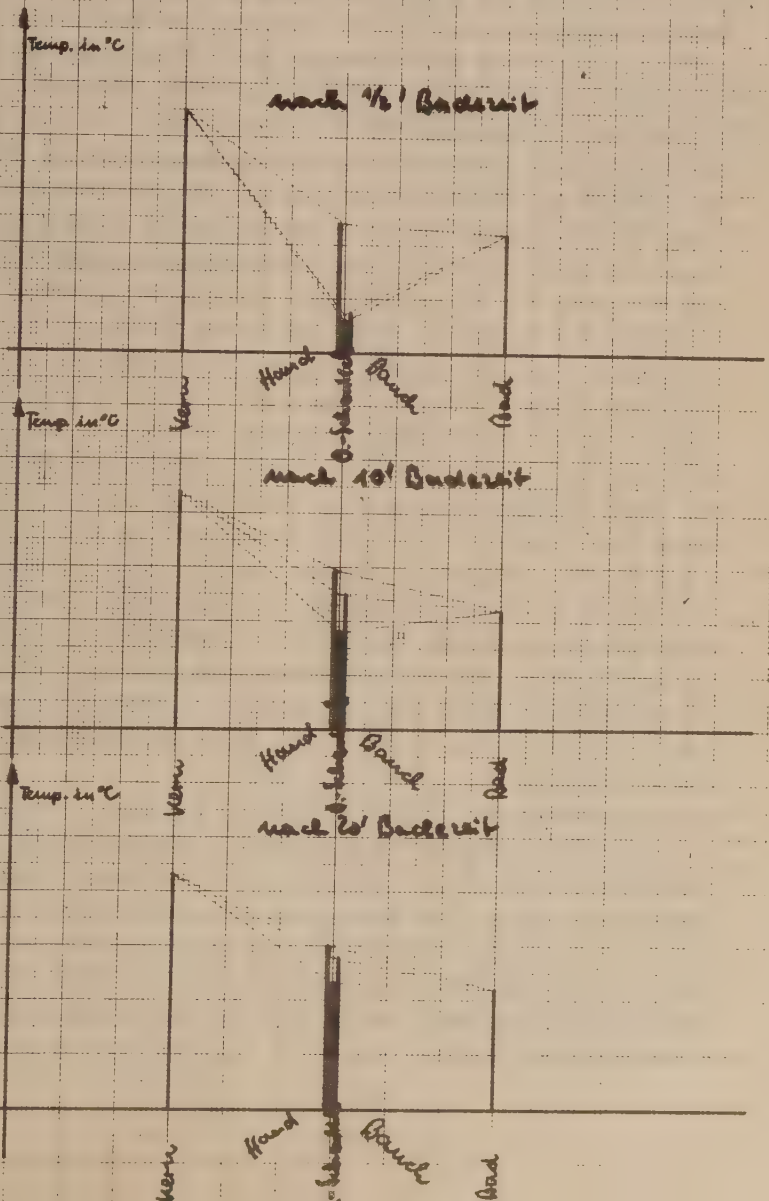


Abb. 22

den Ergebnissen hervor, daß schlecht durchblutete Stellen bei höherer Badtemperatur einen Temperaturanstieg verzeichnen. In der medizinischen Praxis macht man sich diese Tatsache zunutzen, z.B. spricht eine einseitige Ischialgie, die zu einem Temperaturabfall der betreffenden Seite führt, sehr gut auf Wärmezufuhr an.
Der Wärmestrom und seine Verteilung auf Hautstellen mit unterschiedlichen Wärmeübergangseigenschaften erfolgt im Breibad gleichmäßiger als im Wasserbad.
Die unterschiedlichen Wärmeübergangseigenschaften der zur Schale gehörenden Meßstellen beruhen vorwiegend in ihrer Durchblutung. Denn der Wärmeübergang in der Schale und im Kern erfolgt in der Hauptsache konvektiv mit dem Blut und die reine Wärmeleitung spielt nur eine untergeordnete Rolle. E. Thorn sagt, die Extremitäten (-enden) (bei uns Hand - Rücken) reagieren funktionell anders als z.B. der Stamm. Dort ist eine große Anzahl von arteriovenösen Anastomosen zu finden. Deshalb geringer Wärmedurchgangswiderstand - große Wärmeaufnahme, bzw. Abgabe. Während beim Stamm (in unserem Fall Bauch und Oberschenkel) eine individuell starke Fettschicht, die wenig durchblutet ist, vorliegt, deshalb anfänglich großer Wärmedurchgangswiderstand - weniger Wärmeaufnahme. Dieser Wärmedurchgangswiderstand fällt jedoch am Bauch und Oberschenkel im Moorbad mit steigender Badtemperatur und steigt an der Hand mit der Badtemperatur - bei 39,2°C sogar über die Stammwiderstände hinaus.
Auch Aschoff kommt zu dem Ergebnis, daß Durch-Blutungsunterschiede und somit Wärmeübergangseigenschaften anatomisch durch die Verteilung der arteriovenösen Anastomosen gegeben sind. Die Regulationsbreite der Extremitäten liegt nach Drexel ebenso wie ihre Wärmeabgabe je Flächeneinheit weit über der des Rumpfes. Die gesamten Wärmedurchgangswiderstände zeigen mit der Dauer des Bades einen systematischen Verlauf in der Art, daß sich die

Wärmedurchgangswiderstände mit höher werdender Badtemperatur einander angleichen, d.h. ihre Differenz wird geringer, was therapeutisch in besonders wirksamer Weise nutzbar gemacht werden kann. Insgesamt kann man sagen, daß der äußere Wärmedurchgangswiderstand zu Beginn im Moorbreibad kleiner ist, als der innere, mit längerer Badedauer wird der äußere Wärmedurchgangswiderstand immer mehr zum bestimmenden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Wärmedurchgangswiderstand nur unvollkommen sich darstellen läßt, weil Wärmeaustauschvorgänge durch Wärmekapazitätenänderungen zu beiden Seiten der Trennschicht (Haut) in recht schwer durchschaubarer Weise verkompliziert werden.

5. Zusammenfassung

1) Unter einer konstanten Raumtemperatur von 28°C wurden Moorbreibäder von im Mittel 34,8°C, 36,6 und 39,2°C durchgeführt. Dabei wurden vor und während des Bades mittels 3 Meßfolien die Wärmestromdichte am Oberschenkel, an der Hand und am Bauch gemessen und zur gleichen Zeit, Haut-, Rectal- und Sublingualtemperatur bestimmt.
2) Die Wärmedurchgangswiderstände wurden anhand der gemessenen Wärmestromdichte, der Badtemperaturen, der Folientemperatur und der Kerntemperatur berechnet. Es zeigt sich jedoch, daß von echten Wärmedurchgangswiderständen frühestens nach 10 Minuten Badezeit gesprochen werden kann und außerdem die sich ändernde Badtemperatur unbedingt berücksichtigt werden muß.
3) Die aufgehobene Verdunstung im Bade vereinfacht die thermischen Austauschvorgänge, wobei die thermische Wirkung der Atemwege vernachlässigbar klein wird.
4) Nach dem Eintritt in's Bad treten zunächst thermische Verschiebungsvorgänge auf, die jedoch nach unseren Feststellungen nicht wie im Wasserbad als Wärme-, bzw. Kältestoß bezeichnet werden können. Nach spätestens 10 Minuten Badezeit tritt ein dynamisches Gleichgewicht ein, ausgedrückt durch einen annähernd stationären Wärmestrom pro cm^2 Körperoberfläche.
5) Bei einem Moorbreibad von 39,2°C fließt die Wärme ausschließlich vom Bad zum Körper.
   Bei den Bädern um 34 und 36° wechselt der Wärmestrom seine Richtung während des 20 Minuten dauernden Bades, einmal vom Körper zum Bad und zum anderen vom Bad zum Körper. Es ist ein Indifferenzpunkt vorhanden.
6) Bei gleicher Badtemperatur ist die Wärmestromdichte an der Hand, am Oberschenkel und am Bauch verschieden groß, was auf den Unterschieden der Durchblutung beruht.

7) Die Rectaltemperatur ändert sich während der 20 Minuten dauernden Badezeit kaum, auch nicht im Vergleich mit der vor dem Bad gemessenen.
8) Die Sublingualtemperatur lag vor dem Bad und auch während des Bades um 0,2 bis 0,5°C niederer als die Rectaltemperatur.
9) Die Temperaturen des Moorbreies müssen wesentlich höher sein, als die des Wasserbades, wenn der gleiche Wärmestrom fließen soll.

Zum Schluß sei es mir erlaubt, Herrn Professor Dr.med. H.v. B r a u n b e h r e n s für die Übernahme des Referates ergebenst zu danken.

Herr Dipl.Phys. K. Dirnagl und Herr Priv.Doz.Dr.med. H. Drexel danke ich geziemend für die freundliche Überlassung des Themas und für ihre wertvollen Ratschläge und Hinweise bei der Durchführung der Versuche und der Ausarbeitung der Ergebnisse.

Literaturhinweise:

1. Büttner, K.: Physikalische Bioklimatologie. Akad. Verlagsges., Leipzig 1938
2. Aschoff, J.: Physiologie der Temperaturregulation. Naturf. u. Med. in Deutschland, Bd. 58, (1939 - 46)
3. Burton A.C. und Edholm O.G. Man in a cold environment. E. Arnold, London 1955
4. Precht, H., J., Christophersen und Hensel H. Temperatur und Leben. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955
5. Thauer, R.: Physiologie der Wärmeregulation. Acta Neuroveg. 11 : 12 (1955)
6. Wetzler, H.: Der Mensch in Hitze und Kälte. Kältetechnik, 1. Sonderheft 1954
7. Winslow, C.-E.A. und Herrington, L.P. Temperature and human life. Princeton Univ. Press. 1949
8. Liebermeister, C.: Handbuch der Pathologie und Therapie des Fiebers. Vogel Leipzig 1875.
9. Lefevre. J.: Chaleur Animal et bioenergetique. Masson, Paris 1911
10. Burton, A.C., und Bazett H.C.: A study of the average temperature of the tissues, of the exchanges of heat and vasomotor responses in man by means of a both calorimeter. Am.J.Phys. 117:36, (1936)
11. Kellner, W.: Wärmemessungen nach Bädern. Balneologie 3:410 (1936)
12. Ipser, J.: Physikalische und physiologische Bedingungen der Wärmeübertragung im Bade. Atti del Congr. intern. di idrolog. e climat., Lacco Ameno 1958
13. Ipser, J.: Autokalorimentrie. Fysiatricky vestnik XXXVI:2 (1958)

x	14. Dirnagl, K.:	Wärmeübergang aus breiigen und wässrigen Bademedien. Arch. Phys. Ther. 8:180 (1956)
	15. Lustig, W. L., und Cammerer J. S.	Folien-Wärmestrom-Messer für technische und physiologische Untersuchungen. Gesundheits-Ing. 76:289 (1955).
x	16. Drexel, H., Dirnagl K. und Kampe W.	Wärmestrommessungen im Bade. Arch. Phys. Ther. 12:169 (1960)
x	17. Kampe W.	Beiträge zur Frage des Wärmeübergangs im Bade. (Gewonnen mit Folien - Wärmestrom - Messern). Münchner Dissertation 1960
	18. Aschoff J.:	Über den Wärmedurchgang durch die Haut und seine Änderung bei Vasokonstriktion. Aus Pflügers Archiv 249, 1948
	19. Thorn, E.:	Einfluß der Umgebungstemperaturen auf die Körperschalendurchblutung. Archiv der physik. Therapie Bd. 8 1955 - 56
	20. Rein, H.:	Physiologie des Menschen. Springer Verlag 1955.
	21. Wetzler/Neuroth	Koordinierung von physik. und chem. Wärmeregulation
x	22. Dirnagl, K. und Drexel H.:	Zur Wärmeeinwirkung verschiedener Bäderarten. Zeitschrift für angewandte Bäder und Klimaheilkunde 8. Jahrgang Nr. 5
x	23. Drexel H.	Hydro- und Thermotherapie, aus klinisches Lehrbuch der physik. Therapie, Prof. Dr. J. Grober, Jena.
	24. Grafe, E:	Fieber und Fieberstoffwechsel Archiv der phys. Therapie 7/8

Die mit einem x versehenen Arbeiten stammen aus dem Arbeitskreis des Instituts für Med. Balneologie und Klimatologie, [illegible] ther..

L e b e n s l a u f .

Als Tochter des Kaufmanns Alois Ziegler und seiner Ehefrau Anna, wurde ich, Hilde Dömling, geb. Ziegler, am 13.5.35 in Prag geboren.
Nach unserer Vertreibung 1946 besuchte ich noch 1 Jahr lang die Volksschule in Bruckberg / Oberbayern.
Es folgten 9 Jahre Humanistisches Gymnasium in Landshut, das ich 1956 absolvierte.
Von 1956 bis 1963 studierte ich an der Ludwig-Maximilians-Universität München Medizin. Das Staatsexamen bestand ich 1963 im April.
Seit Beendigung der Medizinalassistenten-Zeit arbeite ich in der Inneren Abteilung eines Krankenhauses der Stadt München als Assistenzärztin.